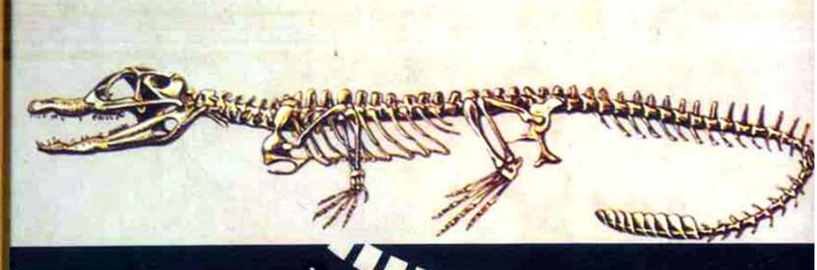


Del pez al hombre

Hans Hass

Biblioteca
Científica
Salvat

Del pez al hombre

Hans Hass

SALVAT

Versión española de la obra original en alemán
Wie der físch zum Mensch wurde, de Hans Hass

Traducción: THEMA
Diseño de cubierta: Ferran Cartes / Montse Plass

Escaneado; thedoctorwho1967.blogspot.com
Edición digital: Sargont (2017)

ISBN: 84-345-8880-3 (Obra completa)
ISBN: 84-345-8936-2 (Volumen 56)
Depósito Legal: B-24107-1994
Publicada por Salvat Editores. S.A.. Barcelona
Impresa por Printer. i.g.s.a.. Agosto 1994
Prínted in Spain

ÍNDICE

Dedicado a los preeminentes representantes del pensamiento universalista en biología,
Richard Hesse y Franz Doflein

INTRODUCCIÓN

El escritor austríaco Stefan Zweig tituló *Momentos estelares de la humanidad* a un libro, tan hermoso como famoso, en el que explicaba algunos instantes decisivos de la historia de la humanidad. En la presente obra hablaremos también de dichos momentos estelares, si bien de unos que son mucho más antiguos. Casi todos se produjeron además hace más de 2 millones de años, algunos hace 100 e incluso más de 1.000 millones de años. Son esos instantes en los que se decidió que el ser humano sea así y no de otra forma, que estemos formados por estas y aquellas partes, por estos y aquellos «órganos».

Objeción: ¿tiene algún interés esta cuestión? ¿Qué nos importa la oscura prehistoria? ¿Puede servirnos de algo en nuestra vida actual, tan llena de problemas, saber de alguna forma, por remota que sea, cuándo, cómo y bajo qué condiciones aparecieron nuestro corazón, nuestra nariz y las uñas de los dedos de nuestros pies? ¿No se trata simplemente de un nuevo intento de despertar el interés del lector con algo exótico, de ganar lectores o de entretenerlos?

Respuesta: no. Precisamente en el actual caos de opiniones, afirmaciones e ideologías que caen sobre nosotros desde todos sitios, tiene especial importancia conseguir, como sea, un punto de referencia fijo en el que podamos confiar, a partir del cual podamos reflexionar y planear, con el fin de juzgar, ordenar y, en su caso, rechazar el actual aluvión de informaciones. ¿Dónde podría buscarse este punto de referencia, este punto de partida tan importante para todo lo demás si no es en una valoración desapasionada de nuestro propio cuerpo y de sus partes? Se trate bien de la política, de arte, de economía o de problemas cotidianos, nada es imaginable sin el cuerpo humano. ¿Cómo podemos atrevernos a discutir grandes ideas sin considerar primero el origen de su aparición?

Los «momentos estelares» que Stefan Zweig narraba en su obra fueron elegidos de manera muy personal: eran instantes que ejercían una especial fascinación sobre el autor. Por ejemplo, el momento en que el primer europeo, un conquistador español, observaba en la región de Panamá la inmensidad azul del océano Pacífico para perder, poco después, la cabeza. O el instante en que el escritor ruso Dostoievski, condenado a muerte, esperaba con los ojos vendados la orden de «¡fuego!», y en su lugar escuchó la concesión de gracia por parte del zar. O el momento en que se estableció a través de un frágil cable la comunicación telegráfica entre Europa y América... Hubo muchos otros momentos en la historia de la evolución del ser humano que Stefan Zweig no pudo explicar porque, simplemente, habían caído en el olvido. El instante en que el primer hombre logró dominar el fuego y emplearlo para su provecho. El de la invención de la rueda, o el momento en que el fundador de alguna religión predicó, por vez primera, su enseñanza...

Sin embargo, de los innumerables momentos estelares que han influido de algún modo sobre la evolución de la humanidad, decidiendo su rumbo, no se cuestiona el origen del ser humano sino que se da por supuesto. ¿Fue su aparición el resultado de un único «momento estelar»? La mayoría de las religiones, incluida la cristiana, lo suponen así. Independientemente de cómo se concibiese a Dios, al creador de la existencia humana, se suponía que habría creado al ser humano para algún propósito determinado. Desde que el hombre piensa y propaga sus pensamientos, está profundamente enraizada en nosotros la idea de una «creación» del ser humano. En una perspectiva lejana y poco clara, imaginamos un creador que da forma al cuerpo humano, diseña nuestros brazos, cerebro, manos y ojos. Independientemente de lo que haya descubierto o afirmado la ciencia, nos vemos a nosotros mismos como una unidad, resultado de un acto de creación, de una planificación genial, como una totalidad nacida de un «momento estelar» misterioso.

La falsedad de esta concepción será puesta de manifiesto, punto por punto, en el presente libro. No se trata de confundir o provocar, sino de hallar una base para el autoconocimiento,

libre de los fantasmas de nuestra propia imaginación. El ser humano no es el fruto de un determinado instante del destino, como tampoco el cielo estrellado nocturno es la unidad temporal que nos parece. Si durante una noche despejada abrimos la ventana y contemplamos encandilados las estrellas veremos la Luna, la Osa Mayor y un pequeño punto, la galaxia de Andrómeda.

Pero lo que vemos en realidad es el aspecto que tenía la Luna hace aproximadamente algo más de un segundo, el intervalo de tiempo que necesitan los rayos de luz para llegar hasta nosotros. Las estrellas que constituyen la Osa Mayor se encuentran a distancias comprendidas entre 55 y 215 años luz. Este es el tiempo que necesita la luz para llegar desde ellas hasta nosotros. No las vemos como son ahora, sino como eran hace 55 a 215 millones de años. La galaxia de Andrómeda la vemos como era hace 2,5 millones de años. Más de una de las estrellas que brillan en el cielo pueden haber dejado de existir hace mucho tiempo. El cielo nocturno nos muestra así una superposición de impresiones que no son en modo alguno simultáneas, si bien todas juntas constituyen una realidad unitaria.

Las cosas no ocurren de modo muy distinto con nuestro cuerpo. Si nos colocamos delante de un espejo, vemos la imagen de nuestro «rostro». Sus partes no son expresión de una simultaneidad, como tampoco lo son las estrellas que constituyen la Osa Mayor. Los ojos, la boca y la nariz no fueron creados de manera simultánea. La abertura de la boca apareció en la línea de nuestros antepasados hace aproximadamente 1.000 millones de años, los dientes hace 400 millones de años y los labios rojos hace «tan sólo» de 4 a 2 millones de años. ¿Y los ojos? Las células fotosensibles del fondo del ojo tienen la considerable edad de 600 millones de años, la pupila tiene «tan sólo» unos 460 millones de años y las pestañas 200 millones. Y otro tanto sucede con el resto de nuestra «cara», con todo nuestro cuerpo. No podemos hablar de una creación simultánea. Nuestro cuerpo es más bien una colección de partes que aparecieron en épocas distintas, bajo circunstancias diferentes

y de modos totalmente diversos. No podemos hablar de «pinceladas de un genio», pero sí de momentos estelares que vale la pena recordar en los que la familia de nuestros órganos se vio enriquecida con algún miembro.

Objeción: ¿qué más da que haya ocurrido así? ¿Qué nos importa si esta o aquella parte aparecieron hace 50 o 2.000 millones de años? ¿Qué nos importa esta ridícula procesión de antepasados? De acuerdo, alguno de estos antepasados fue una especial combinación de moléculas y alguno de sus descendientes fue más tarde un gusano. Esto no tiene nada que ver con nosotros, con nuestro presente y nuestro futuro, ¿o acaso sí?

Respuesta: claro que tiene que ver con nuestro presente, ya que quien dice «yo» debería saber cómo han aparecido, en último término, las partes que dan lugar a ese «yo». ¿Quién se juzgaría a sí mismo sin conocer las partes concretas de las que está compuesto, aquellas que forman, a la postre, ese «yo»? Por lo tanto, puede que no sea una idea tan mala la de contemplarnos, por una vez, en un espejo distinto al habitual. Algunas de nuestras particularidades, incluso algunas de nuestras debilidades y enfermedades, pueden resultar más fácilmente explicables desde esta perspectiva y pueden mostrarnos nuestro «yo» bajo una luz algo diferente.

El tema del presente libro son, por consiguiente, las partes de las que estamos compuestos, su origen, su historia y su evolución. Antes de referirnos a ellas, hay que explicar cómo fue posible descubrir el camino recorrido hasta su aparición, puesto que lo que aquí se expone no es un producto de la imaginación. ¿En qué basamos los diversos datos y afirmaciones?

Es muy probable que no se haya desplegado, en el esclarecimiento de ningún crimen, tanta actividad, tanta profundidad de pensamiento, tantos recursos técnicos como en el problema del origen del ser humano. Tan pronto como se descubrió, hace 130 años, que todos los seres vivos del planeta Tierra estaban emparentados entre sí y que. evidentemente, todos, tanto animales como plantas, provenían del mismo pequeño antepasado microscópico, tan pronto como se tuvo conocimiento de esta

sensacional evolución, un ejército de científicos se puso en movimiento para reconstruir este árbol genealógico del que nosotros mismos no somos más que una pequeña rama.

Primer método: el estudio comparado de todas las especies vivientes de plantas y animales. Si dos especies presentan una organización interna parecida, sus órganos muestran una constitución semejante en cuanto a características esenciales, será un indicio de que están emparentados entre sí en mayor grado, es decir, que proceden de un antepasado común no demasiado lejano. Si, por el contrario, nos encontramos con órganos de estructura y disposición completamente diferentes, hay que suponer que se han desarrollado de forma independiente entre sí, es decir, que tenemos que retroceder a un pasado muy lejano para llegar al antepasado común a partir del cual se desarrollaron dos líneas evolutivas tan diferentes.

Segundo método: la investigación precisa de restos y huellas fósiles en los estratos geológicos. Sobre todo en el fondo marino y en los lagos, los cuerpos de los animales y plantas muertos quedaron enterrados bajo el lodo y la arena y, al igual que estos sedimentos, se transformaron en rocas mediante procesos químicos. No sólo se conservaron las corazas, los esqueletos y otras partes duras sino que, en casos favorables, también las impresiones de los tejidos más delicados, e incluso las huellas que las patas de los animales habían dejado sobre el suelo blando. Mediante movimientos tectónicos, estas rocas emergieron del agua y en algunos fósiles se han conservado imágenes perfectas de animales y vegetales desaparecidos hace mucho tiempo. En el lignito, que se formó hace 60 millones de años, se han podido observar incluso células aisladas y bacterias que quedaron presas en él. Dado que se puede determinar, por diversos métodos, la antigüedad de los fósiles de este tipo, en el caso de muchos organismos se ha logrado averiguar con gran precisión su evolución y transformaciones, llegándose a descubrir, en algunos casos, antepasados comunes de grupos animales y vegetales completamente separados en la actualidad. Un ejemplo clásico lo constituye el ave primitiva *Archaeopteryx*, encontrada en gran número en los esquistos de

Solnhofen, que muestra con claridad que las aves descienden de los reptiles (tabla 1, fig. 6). Este animal, desaparecido hace mucho tiempo, se parece, por muchas de sus características corporales, a un reptil, si bien tiene auténticas alas y plumas.

Tercer método para la exploración del árbol genealógico común de todos los seres vivientes: el estudio exhaustivo de los «fósiles vivos». Entre los animales y las plantas actuales, hay especies que parecen restos fósiles, ya que casi no han variado desde hace millones de años, e incluso en algunos casos desde hace más de cien millones de años. La forma alcanzada en aquella época estaba tan perfeccionada que el tiempo ha pasado por ellos casi sin dejar huella. Un ejemplo, del que nos ocuparemos en el primer capítulo, es el anfioxo, que presenta en la actualidad una forma muy primitiva de pez, que se ha desarrollado, a su vez, a partir de antepasados vermiformes (tabla 10, fig. 1). El animal carece de cabeza diferenciada, no tiene ojos ni corazón, aunque posee un cordón dorsal elástico alrededor del cual se formó, en sus parientes, la columna vertebral. Mientras que de este modo surgieron los teleósteos y los que habían salido a tierra firme se transformaron en anfibios, para convertirse más tarde en reptiles, aves y mamíferos, y mientras que entre los mamíferos aparecieron, entre otros, los primates y, finalmente, el propio ser humano, el anfioxo permaneció casi sin experimentar cambios. Adaptado perfectamente a un tipo determinado de vida, pudo imponerse a sus competidores, sobreviviendo y reproduciéndose siempre con la misma forma, por lo que se ha convertido en nuestros días en un ejemplo viviente de características propias del antepasado primitivo.

Cuarto método: el estudio del desarrollo embrionario de los diversos animales y plantas. Tal y como reconoció el naturalista alemán Ernst Haeckel, el desarrollo del embrión de un individuo recopila de manera abreviada y simplificada el desarrollo filogenético de su especie. Aunque esta regla tiene numerosas excepciones, a partir de los estadios de desarrollo de los organismos pluricelulares se pueden inferir relaciones filogenéticas que no podrían imaginarse en modo alguno en los animales adultos. Así, el embrión humano, entre la tercera y

novena semana, presenta todavía las aberturas branquiales, que más tarde involucionan, características de nuestros antepasados que vivieron hace 450 millones de años en el mar como peces (fig. 3 de las tablas 6 y 7). Igualmente, el desarrollo de los dientes en los mamíferos, reptiles y anfibios muestra de forma clara que surgieron a partir de escamas que se desarrollaron con mayor intensidad alrededor de la boca. Podemos seguir viéndolo hoy en los tiburones, cuyas principales características de los esbozos de los dientes principales equivalen a los de los dientes del embrión humano (tabla 3).

Quinto método: estudio de las relaciones parasitarias. Algunos parásitos no han cambiado, mientras que los animales a los que viven asidos se han modificado y han dado lugar a nuevas especies, géneros y familias. Así por ejemplo, en el ser humano y los chimpancés viven los mismos piojos, lo que, junto con otras características, nos indica la existencia de un parentesco más estrecho con esta especie de primates que con las demás.

En los últimos 50 años se han incorporado innumerables métodos de investigación, con cuya ayuda se han podido descubrir las relaciones de parentesco dentro del gran árbol genealógico de todos los seres vivientes. El descubrimiento de que la situación de los continentes ha variado permitió comprender algunos fenómenos hasta entonces misteriosos. Así, hace unos 200 millones de años, África y América estaban todavía unidas, lo que explica el estrecho parentesco entre las especies animales y vegetales africanas y sudamericanas, cuya llamativa semejanza constituía antes un enigma. Asimismo, la involución experimentada por órganos que ya no se utilizan aporta valiosos indicios: el lución carece por completo de patas, pero un examen más detallado de su cuerpo nos revela restos de la cintura pelviana y una cintura escapular completa, lo que indica que tiene antepasados tetrápodos. En las ballenas, que descienden de vertebrados terrestres, se pueden observar restos de una cintura pelviana. Igualmente, es posible sacar conclusiones acerca del grado de parentesco a través de los anticuerpos de la

sangre. Las pruebas de este tipo han demostrado que las ballenas están muy emparentadas con los artiodáctilos y que, por tanto, se produjo una nueva colonización del mar por unos descendientes de éstos. Estudios bioquímicos demostraron que casi todas las especies de animales y plantas forman una molécula de albúmina que les caracteriza. En este caso se desarrollaron también métodos que permitieron elucidar el parentesco filogenético. Por otro lado, existen muchas semejanzas que han dado pie a conclusiones erróneas. En especial en condiciones vitales extremas, los representantes de grupos animales muy diferentes han llegado a adaptaciones sorprendentemente parecidas, a formas casi idénticas del cuerpo y sus órganos. A menudo se dedujo de ello un parentesco estrecho y tan sólo estudios posteriores más precisos revelaron que procedían de líneas filogenéticas distintas. Las bellotas de mar, frecuentes en las costas rocosas, tienen un aspecto muy parecido a las lapas, los percebes a un mejillón. Ambos son crustáceos que pasaron a una forma de vida sésil y desarrollaron, lo mismo que los gasterópodos o los moluscos, una concha protectora. El ojo del calamar es, en cuanto a su estructura, casi idéntico al nuestro, y a pesar de ello hemos de remontarnos a casi 1.000 millones de años para encontrar un antepasado común que nos vincule con él (tablas 4 y 5). Los ojos de los moluscos y los de los vertebrados aparecieron por caminos evolutivos completamente independientes y muy distintos. En este caso, la misma función crea la misma forma, de igual modo que el esquema básico de una cámara fotográfica particular es parecido al de cualquier otra. Lo que nos interesa en este libro es el árbol genealógico del ser humano, el camino evolutivo de sus órganos. Sin embargo, no se le puede considerar independiente al resto de la evolución. En los puntos de nuestra cadena de antepasados donde faltan eslabones, podemos conseguir referencias a partir de otras líneas evolutivas mejor documentadas. Hasta hoy, la mayoría pensaba que la teoría de la evolución trataba de si descendíamos del mono y de qué manera. Sin embargo, éste es el último paso en el marco de una serie evolutiva irregular y fascinante. Si nos interesamos por el origen de nuestro

cuerpo y de nuestros órganos, el antepasado primate tiene importancia sólo dentro del marco del desarrollo de nuestro cerebro y nuestras manos. La aparición de todos los restantes órganos se produjo en un tiempo anterior, de extensión irregular, cuando no existía todavía ninguna forma de vida en tierra firme. Si buscamos los antepasados en los que se desarrolló la estructura fundamental de nuestro cuerpo, podemos dejar a un lado a los primates. Debemos dirigirnos hacia los peces, ya que la estructura del cuerpo humano se desarrolló en antepasados que vivían como peces en el mar. Esto se produjo hace 900-400 millones de años.

Todos los animales y plantas terrestres de la actualidad provienen de habitantes marinos y todos ellos procedían, a su vez, de organismos unicelulares. El hecho de que el hombre esté emparentado con todos los organismos vivientes, incluso con las plantas, las bacterias y los virus, ha quedado demostrado hace poco tiempo con el desciframiento del «código genético» contenido en el núcleo de las células. En la reproducción, las órdenes para la estructura de la descendencia están escritas en el mismo lenguaje químico. La coincidencia es tan exacta que se pudo determinar, a través de estudios con virus y bacterias, la estructura en detalle del código genético en los seres humanos. Este comprende un número de un millón de veces mayor de órdenes estructurales, pero las letras con las que están escritas las largas cadenas de moléculas son iguales en todos los casos.

Pongámonos, por tanto, manos a la obra. Contemplemos nuestra imagen en el espejo de un modo distinto a como veníamos haciéndolo. Cada uno de los órganos tiene su historia, su momento estelar. Las partes de las que estamos formados aparecieron en épocas completamente distintas, al igual que las señales luminosas que crean ante nosotros una imagen «fiel» del cielo nocturno estrellado. Como se verá más adelante, el cuerpo humano está lejos de ser perfecto. Algunas de sus partes se comprenden sólo a través de los rodeos dados para su aparición. Algunas de nuestras enfermedades y debilidades encuentran también aquí su explicación histórica. El conocimiento de

nuestro «yo» y sus impulsos parte del supuesto del proceso de aparición de nuestro cuerpo. El camino que recorrió para aparecer no reduce en nada la tan ensalzada y defendida «dignidad humana». En tanto en cuanto la tengamos, no crece ni se reduce a causa del modo en que hayamos aparecido.

I. NUESTRAS MANOS

Estudiemos, por tanto, nuestro propio cuerpo. ¿Por dónde empezar? ¿Por los ojos, que nos permiten reconocer el mundo con todo su colorido, diversidad y singularidad? ¿O por nuestro cerebro, el orgulloso timonel del oscilante navío humano? ¿O por las uñas de los dedos de los pies? ¿O por nuestro corazón, del que afirmamos que nos juega alguna que otra mala pasada, aunque no sea más que una bomba? Y como veremos, incluso es una bomba doble.

Da igual por dónde empecemos, lo esencial es que completemos el círculo, ya que cada órgano es parte de un todo y sin la totalidad del mosaico no podemos comprendernos a nosotros mismos.

Empecemos por las manos, que son, seguramente, los más humanos de nuestros órganos. Sin ellas, nuestra orgullosa inteligencia no tendría ni la más mínima capacidad de acción e incluso a duras penas podría haberse desarrollado. Ésta es la tragedia de los delfines. Disponen de un cerebro altamente desarrollado, pero ¿de qué les sirve? Con sus aletas no pueden construir ningún tipo de herramientas, ningún martillo, lápiz o automóvil. Están condenados a seguir siendo lo que son: mamíferos marinos sin remedio. ¿De qué les puede servir, pues, el órgano creador e inventor si su cuerpo es incapaz de llevar a cabo lo que aquél inventa o crea?

No obstante, debemos ser cuidadosos en nuestros juicios desde el principio. Por ejemplo, los orificios de salida del recto y de la uretra. Los ocultamos con vergüenza, son órganos de tercera o cuarta categoría. ¿Qué sucede, sin embargo, con nuestro orgulloso cuerpo cuando se ponen en huelga, cuando se niegan a realizar sus funciones? De repente adquieren mucha, muchísima importancia. Toda la fuerza de nuestro pensamiento consciente gira entonces exclusivamente a su alrededor. Para

ponerlos nuevamente en orden, se recurre a médicos caros, costosos métodos curativos, hospitales, todo tipo de medios disponibles... Lo que se quiere decir con esto es lo siguiente: en esta orquesta todos los violines y todas las trompetas tienen su importancia, si uno de los órganos hace huelga se perturba la armonía. Dejamos de ser Prometeo, el orgulloso dueño e intérprete del mundo. Nos convertimos en «enfermos», objetos dignos de compasión de la ciencia médica. En realidad, sólo somos nosotros mismos cuando todas las piezas del mosaico de nuestro cuerpo colaboran en ello. Por eso da igual por dónde empecemos y cuál sea el camino que sigamos. Es difícil establecer una verdadera prioridad. De todos modos, nuestras manos tienen una cierta preferencia, pues son nuestros amigos más íntimos, nos ayudan casi en todo lo que hacemos. Con ellas nos defendemos, acariciamos, trabajamos, escribimos, comemos y tocamos instrumentos musicales. Sin manos estamos de hecho bastante limitados.

¿Cuándo y dónde aparecieron en la larga cadena de nuestros antepasados? ¿Cómo se formaron? Fijémonos en un pez, por ejemplo la trucha del estanque de un restaurante antes de que nos la comamos. Observemos la extraordinaria gracilidad de sus aletas pectorales, con las que el pez puede nadar hacia delante y hacia atrás o desplazarse libremente hacia un lado. Contemplemos ahora nuestras manos, ya que están íntimamente emparentadas con las aletas de este pez. No queremos decir, en modo alguno, que nuestras manos procedan, precisamente, de las aletas pectorales de las truchas, sino que ambas se han originado a partir del par de aletas delanteras del pez primigenio que vivió hace aproximadamente 450 millones de años. A partir de ellas se desarrollaron, por un lado, las aletas pectorales de todos los peces óseos y cartilaginosos actuales y, por el otro, las extremidades anteriores de todos los vertebrados terrestres: anfibios, reptiles, aves y mamíferos. A partir del par de aletas ventrales de dicho pez primigenio se desarrollaron las extremidades posteriores de todos los vertebrados terrestres: las patas traseras de anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Nuestros pies proceden de ellas.

Pero retrocedamos un paso más. ¿De dónde proceden los peces y cómo se desarrollaron las primeras aletas?

Hace 2.000 millones de años, en el mar sólo existían organismos unicelulares. Se parecían a los que todavía hoy podemos encontrar en cualquier gota de agua. Acerca de su origen trataremos más adelante. Sin embargo, un día, al dividirse algunos de dichos organismos, las dos células hijas resultantes no se separaron sino que permanecieron juntas formando conglomerados y pequeños grupos. En la actualidad todavía existen organismos pluricelulares tan primitivos como ellos, formados por cuatro, dieciséis o unos pocos miles de células. En el seno de estos grupos sencillos de células se llegó a una división del trabajo, algunas células se especializaron en la obtención del alimento, otras en la protección de la colonia, otras, aún, en la reproducción, etc. Los pólipos coralinos, las medusas que nadan en el mar y las esponjas son ejemplos de organización aún primitiva de este tipo. Otras colonias celulares se transformaron hasta adquirir forma de «gusanos», formaron un intestino continuo y adquirieron la capacidad de reptar sobre la arena o el fondo marino. Los animales vermiformes de este tipo son los antepasados del pez primigenio, del que también nosotros procedemos, pero asimismo de los actuales erizos de mar, estrellas y holoturias. Los equinodermos están más estrechamente emparentados con nosotros que, por ejemplo, los cefalópodos, los crustáceos o los insectos. Los enteropneustas o helmintomorfos, fósiles vivientes, tienen un intestino branquial, una característica propia de los vertebrados, mientras que sus larvas presentan un claro parentesco con los equinodermos. Hace aproximadamente 1.100 millones de años, el árbol de la vida se dividió en dos ramas principales, una de las cuales condujo a los erizos de mar, estrellas y holoturias y la otra, a través de los vertebrados, hasta nosotros mismos (tabla 5). El punto de separación de estos antepasados comunes de aquellos de los de los moluscos y los articulados, que proceden también de organismos pluricelulares vermiformes, está todavía algo más lejos.

En el camino evolutivo que conduce hasta nosotros, el anfioxo que todavía hoy vive en los fondos arenosos del mar, constituye un claro exponente de la época en que se produjo el paso del gusano al pez. Mientras que el resto de las formas primigenias de la primera comunidad de peces se extinguió hace mucho tiempo, eliminados en la lucha frente a oponentes cada vez mejores y más organizados, esta reliquia viviente de una época remota nos da una visión muy aproximada del primer momento estelar en el proceso de aparición de nuestras manos. El anfioxo no tiene aletas pares sino únicamente una aleta continua y nada con la ayuda de movimientos serpenteantes de su cuerpo en forma de palillo. Es un mal nadador, capaz tan sólo de recorrer distancias cortas. Carece de una cabeza diferenciada con ojos, el cuerpo consta de un gran aparato branquial con una cola adosada a él (tabla 10). Penetra en la arena hacia atrás e inclinado de modo que la boca queda sobre la superficie del suelo. Tiene a ambos lados hasta un total de 200 aberturas branquiales. Mediante movimientos vibrátiles el agua penetra en él y las partículas alimenticias que lleva en suspensión son filtradas por las branquias como a través de una red. Si acercamos un dedo y asustamos al animal, sale disparado de la arena, nada un corto trecho y vuelve a enterrarse en ella. Al contrario que los pólipos coralinos y las anémonas de mar, que también se alimentan del plancton que pasa ante ellos, este animal goza de la considerable ventaja de poder cambiar de posición. Si se le ataca puede emprender la huida. Cuando las condiciones de vida son desfavorables, es capaz de cambiar de lugar. A lo largo de la zona dorsal discurre un cordón elástico, el notocordio o cuerda dorsal, al que se insertan los músculos dispuestos lateralmente. Alrededor de este cordón se desarrolló, en el caso de los vertebrados, la columna vertebral, como puede observarse con claridad en el desarrollo embrionario de las especies actuales.

Lo que nos interesa son dos pequeños pliegues de piel formados a ambos lados de la parte ventral. Se cree hoy que las aletas pectorales y ventrales posteriores de los peces se forma-

ron a partir de pliegues parecidos a éstos: primer momento estelar del desarrollo de nuestros brazos y piernas. Esto sucedió hace 570 a 500 millones de años. Los primeros peces, dotados de una cabeza con ojos y que perseguían de manera activa a las presas, los *agnatos*, emparentados con los placodermos, no tenían todavía aletas pares. Los conocemos bien gracias a sus restos fosilizados. Más tarde aparecieron los que estaban dotados de elementos laterales de apoyo situados en la parte delantera. A partir de los órganos de estabilización surgieron más tarde los de desplazamiento, y de los pliegues de piel se formaron lóbulos anteriores y posteriores, reforzados con tejido cartilaginoso, en los que se insertaron fibras musculares. El siguiente paso evolutivo no se produjo en el mar sino en el agua dulce, en pantanos ocasionalmente secos. De este período decisivo, el siguiente momento estelar en el camino evolutivo de la mano humana, hace 400 a 380 millones de años, conservamos un fósil viviente. Quien quiera visitarlo puede hacerlo en Australia, en los pantanos secos. Es un pez pulmonado que posee asimismo aletas pectorales y ventrales bien desarrolladas (tabla 1, figs. 1, 2). Sin embargo, ambas tienen la misma forma, sin estar adaptadas a funciones distintas, y lo que es más importante: el animal ha desarrollado un pulmón primitivo, es decir, puede respirar aire atmosférico (tabla 14). Si el pantano se seca, es capaz de sobrevivir. También en África existen peces pulmonados, si bien los australianos nos muestran más claramente ese carácter primitivo. El modo en que apareció en cada caso el pulmón por evaginación del intestino lo veremos más adelante. Lo que aquí nos interesa señalar es que los antepasados de los peces pulmonados que viven en la actualidad, que no han variado apenas desde hace 350 millones de años, pasaron a tierra firme.

El motivo inicial, que resultó ser una ventaja para la vida, fue que de este modo podían desplazarse hasta aguas que no se hubiesen secado y continuar viviendo en ellas. Sin embargo, en tierra ya existían plantas y animales inferiores, es decir, alimento. Este hecho fue decisivo para el posterior desarrollo evolutivo. Los peces pulmonados no necesitaban ya encontrar otro

pantano, no les era imprescindible volver al agua para conseguir alimento. De este modo, algunos evolucionaron hasta convertirse en organismos terrestres, convirtiéndose así en los primitivos antepasados de los anfibios y, más adelante, de los reptiles, las aves, los mamíferos y el ser humano.

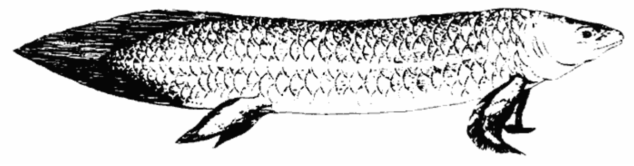
Las plantas que iniciaron, hace aproximadamente 400 millones de años, la colonización de la tierra firme fueron, según nuestros conocimientos actuales, las algas azules. Fueron los pioneros de la vida que se adentraron en aquel mundo seco, todavía completamente desierto. En las playas llanas y húmedas cubrieron, igual que hacen hoy en las aguas bajas dejadas por la marea, grandes extensiones. Otros tipos de algas formaron almohadillas. Para la conquista de la tierra firme resultó de especial utilidad la simbiosis entre algas y hongos que llamamos *líquenes*. Esta comunidad es capaz de colonizar rocas desnudas y formar una capa vegetal somera. Se ha demostrado que, a más tardar hace 350 millones de años, aparecieron las primeras formas de helechos, a partir de los cuales se desarrollaron los licopodios, los equisetos y las fanerógamas. Se ha demostrado asimismo que hace al menos 340 millones de años existían plantas terrestres arbóreas de 20 metros de altura. En el período Carbonífero, hace 335-275 millones de años, los densos bosques primitivos cubrían amplias áreas de los continentes de aquel entonces (véase tabla 11). Los animales siguieron a las plantas. La capa vegetal les brindaba humedad, protección y, sobre todo, alimento. En muchas líneas evolutivas los animales acuáticos se adaptaron a vivir en tierra firme. Como puede reconstruirse a partir de numerosos rastros fósiles, los anélidos, los crustáceos, los gasterópodos y otros grupos de animales conquistaron la tierra de manera independiente unos de otros. En el caso de los vertebrados, fueron los peces pulmonados, llamados *dipnoos*, los que lograron llevar a cabo esta proeza (tabla 1. fig. 1, y tabla 5).

Tabla 1. Formación de las manos, las patas y las alas a partir de las aletas de los peces

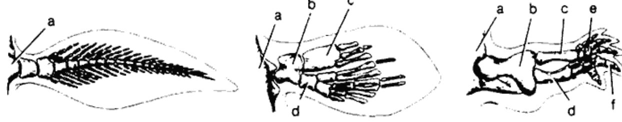
Figuras: 1 pez pulmonado australiano *Ceratodus* (reptante), **2** esqueleto de una de sus aletas pectorales, *3* esqueleto de una aleta dorsal del crosopterigio *Sauripteris taylori,* **4** esqueleto de la extremidad anterior del anfibio *Eryops,* **5** esqueleto del anfibio primitivo *Ichthyostega,* **6** esqueleto del ave primitiva *Archaeopteryx.* a = cintura escapular, b = húmero, c = cúbito, d = radio, e = metacarpianos, f = falanges.

El pez pulmonado australiano **(**1**)** es un «fósil viviente». Como atestiguan los restos óseos hallados, su forma apenas se ha modificado desde hace 350 millones de años. Este pez dulceacuícola nos muestra hoy cómo, durante los períodos de sequía, las aletas se transformaron en órganos de locomoción sobre tierra firme. El esqueleto de sostén de sus aletas (2), unido de manera articulada a la cintura escapular (a), está formado por un elemento principal articulado, a ambos lados del cual se ramifican radios también articulados. A partir de esta disposición y por una progresiva regresión de unos elementos y reforzamiento de los restantes, pudo formarse el esqueleto de apoyo de las patas que servían para el desplazamiento en tierra firme. Dos restos fósiles de especies ya extinguidas muestran con toda claridad este curso evolutivo. En el crosopterigio *Sauripteris taylori* (3) se pueden distinguir el húmero, el cúbito y el radio (b, c, d), seguidos de radios articulados en mucho menor número. En *Eryops* (4), perteneciente ya a los anfibios, se han formado cinco metacarpianos y cinco falanges (e, f). *Ichthyostega* (5), también extinguido, que vivía en la región que hoy es Groenlandia y cuya estructura corporal se ha podido reconstruir por completo (5), presenta patas anteriores y posteriores con la disposición de los huesos que es característica de todos los vertebrados terrestres. Al húmero de un solo radio le siguen los dos huesos del antebrazo, seguidos de los metacarpianos y de los cinco dedos articulados. El caso de las extremidades dirigidas hacia atrás es análogo. En los primates y el hombre, los pies anteriores se transformaron en la mano prensil (pág. 12**).** En otros vertebrados terrestres, al adaptarse a condiciones de vida especiales, tuvieron lugar grandes variaciones con respecto al esquema óseo que en las fases embrionarias es igual para todos (ejemplos extremos son el caballo, el topo y la ballena). El modo en que a partir de los reptiles se originaron las aves nos lo muestra el *Archaeopteryx,* un ave primitiva de la que se han encontrado los esqueletos fósiles de numerosos ejemplares en los esquistos de Solnhofen (Baviera) (6). La cabeza es claramente reptiliana mientras que la cola y las extremidades tienen plumas; eran ya, por tanto, órganos de vuelo. De esta manera los restos fósiles de especies extinguidas, y a veces también los de otras vivientes o su desarrollo embrionario, informan sobre el curso evolutivo dentro de líneas filogenéticas determi-

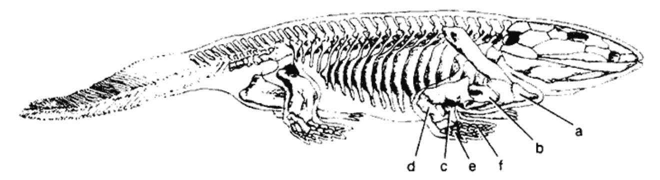
nadas. El descubrimiento de las «formas puente» que unen filogenéticamente los grandes grupos animales es bastante raro. En el caso del pez pulmonado, de *Ichthyostega* y de *Archaeopteryx*, el camino que condujo a la mano humana y a las alas de las aves se manifiesta con especial claridad.



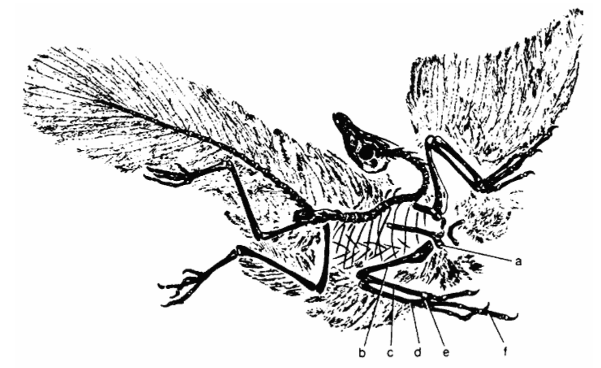
1 Pez pulmonado australiano



2 Aleta de pez pulmonado 3 Aleta de *Sauripteris* 4 Pata de *Eryops*



5 Anfibio primitivo *Ichthyostega*



6 Ave primitiva *Archaeopteryx*

Bajo el agua, el cuerpo del pez es casi ingrávido, pero en la tierra firme la gravedad se convirtió en un problema. Las aletas, blandas y cartilaginosas, eran en el mundo aéreo órganos de desplazamiento poco adecuados. Sin embargo, los radios de las aletas de los peces pulmonados estaban divididos en innumerables secciones, una condición ideal para la aparición de extremidades y dedos. Por reducción y transformación de lo existente, se pudo desarrollar de manera relativamente sencilla un brazo de un único hueso y un antebrazo de dos, a los que seguían los huesos intermedios y cinco dedos. Dedos articulados. Cada mutación del material genético que causaba, por un lado, una reducción de este tipo y, por el otro, el reforzamiento del conjunto reducido, era una clara ventaja y se imponía. Conocemos sólo algunas reliquias de esta importantísima evolución (tabla 1, figs. 3, 4). Probablemente, se produjo en espacios vitales reducidos donde cualquier mutación favorable constituía una clara ventaja y desplazada por ello a la anterior. Tan pronto como se había alcanzado el número de cinco para los dedos, la solución resultó ser tan perfecta que se mantuvo para toda la evolución posterior como estructura fundamental. De esta forma, las aletas pectorales y abdominales se transformaron en un tiempo geológico breve en órganos locomotores de los animales terrestres. Éste fue el segundo momento estelar en el camino evolutivo que condujo a la mano humana, hace 400-380 millones de años.

En este punto haremos un alto. Resulta curioso el modo en que en unas condiciones extremas se produjo una evolución tan decisiva. Ésta es una característica de la evolución, el caprichoso desarrollo del árbol filogenético. Y no es menos característico el que estos avances en condiciones extremas, en nuestro caso en pantanos desecados, tengan también más tarde efectos en direcciones completamente distintas.

El paso de la aleta de pez al pie del animal terrestre puede parecer dirigido, planificado por un voluntarioso creador. Sin embargo, si observamos con más atención, vemos la ausencia de dirección en todo el proceso. El punto de partida fue la aparición de un pulmón primitivo, una evaginación del intestino,

una vejiga dotada de musculatura. Sin embargo, equipados con esta vejiga, algunos de estos peces conquistadores de la tierra regresaron de nuevo al mar. ¿Para respirar aire con ella? En modo alguno. Para ello disponían, como antes, de las branquias. No obstante, de pronto pudieron equilibrar el impulso ascendente. El pulmón primitivo se transformó en su caso en una vejiga natatoria. Con la ayuda de este nuevo órgano superaban, en ciertos aspectos, a los otros peces que habían permanecido en las aguas. Desplazaron y aniquilaron a muchas especies. Todos los peces óseos actuales proceden de aquellos peces pulmonados que, tras el contacto, en tiempos geológicos, con el mundo aéreo, regresaron a las aguas (tabla 5). ¿Un camino evolutivo premeditado? En realidad, no. Si en este proceso hubiese participado una fuerza creadora directora, un espíritu sabio, no habría sido necesario para la formación de la vejiga natatoria, que es una ventaja decisiva para los teleósteos, dar un rodeo a través del pulmón. Podemos objetar que lo único que cuenta es el ser humano, pero, como veremos, algunos de los órganos de importancia decisiva en el hombre aparecieron también mediante rodeos de este tipo, por ejemplo, algunas partes de nuestros órganos auditivos y del habla, es decir, órganos esenciales para la consecución del ser humano (véase págs. 260 y 306).

En el caso de los teleósteos, la evolución se produjo de la manera siguiente. A su retorno al mundo submarino, la vejiga natatoria recién adquirida les confirió importantes ventajas, las aletas pectorales y abdominales no tenían que dedicarse a gobernar los movimientos en dirección ascendente o descendente y de este modo pudieron convertirse en instrumentos de navegación muy perfeccionados. La trucha lo demuestra y aún más los delicados peces de los arrecifes coralinos. Con movimientos de gran precisión giran y orientan su cuerpo sin cambiar de posición, lo hacen avanzar o retroceder en las grietas más angostas. Durante el rito nupcial provocan sinfonías de perturbaciones del agua que excitan al compañero, que las percibe y comprende. Entre estos movimientos de las aletas y la mano humana tocando el piano no existe ni mucho menos un abismo

tan profundo. Estas aletas, si bien no pueden agarrar ni construir herramientas, son capaces de crear música y acariciar a través de las ondulaciones del agua.

En tierra la evolución siguió otros caminos. Las aletas transformadas debían desplazar el cuerpo sobre el suelo, por encima de las piedras, y llevar la cabeza y la boca hasta la huidiza presa. Para ello se necesitaba, en primer lugar, que las patas traseras estuviesen unidas a la columna vertebral. Esta unión fue tomando lentamente cuerpo y la denominamos *cintura pelviana*. La unión anterior era menos urgente y lo más ventajoso en ella era que se produjera mediante músculos y ligamentos elásticos. Aunque inicialmente tanto las patas delanteras como las traseras sufrieron un desarrollo similar, con la articulación principal hacia un lado, tan pronto como fueron lo suficientemente fuertes para levantar el cuerpo por encima del suelo la situación cambió. La orientación de la articulación de las patas anteriores se modificó, dirigiéndose hacia atrás. La rana, que avanza a saltos, nos lo demuestra con claridad. Mientras tanto, los insectos se habían multiplicado haciéndose muy numerosos y ella les cazaba. El par de patas trasero se encarga de proporcionar el impulso y el delantero de frenar el movimiento.

Gracias a los fósiles conocemos con todo detalle un anfibio todavía muy primitivo, un «pez de pies», cuyo nombre científico es *Ichthyostega* (tabla 1, fig. 5). Este animal vivió hace 350 millones de años en lo que hoy es Groenlandia. El cuerpo es de pez pero las patas son las de un tritón: húmero, cúbito y radio, carpianos y metacarpianos, así como cinco dedos articulados: las extremidades posteriores muestran idéntica división. Desapareció hace 330 millones de años, fue desplazado por otros anfibios más evolucionados. Sin embargo, tenía parientes cuyos descendientes han sobrevivido hasta la actualidad. Por supuesto, en lugares más insospechables, en el mar, junto a las islas Comores, en el borde de la plataforma continental entre 100 y 200 metros de profundidad. Su descubrimiento en el año 1938 fue toda una sensación.

Vuelve a plantearse la cuestión de por qué los osados pioneros en tierra firme regresaron al mar. Respuesta: porque algún hecho casual los llevó de nuevo a la costa, porque algunos de los avances logrados les permitía vivir bajo el agua con ventaja. En el caso de los teleósteos, esa ventaja era el pulmón, que en su caso se transformó en una vejiga natatoria. Se desconoce lo que podía representar una ventaja competitiva en el mar para los *crosopterigios*, que es el nombre que reciben estos animales que volvieron a las aguas. El hecho es que estos conquistadores de la tierra firme, dotados ya de esbozos de patas, se mezclaron otra vez con los peces (tabla 5). Dado que disponían de esbozos de patas, tuvieron que reconvertirlos en aletas (tabla 1, fig. 3.) Una de las leyes más cuestionables de la vida que se han propuesto en el marco de la investigación científica, es la de la «irreversibilidad» de la evolución. Esto quiere decir que la vida sigue un camino sin retorno. En realidad, no pocas veces sucede exactamente lo contrario. Sin embargo, hay que reconocer que en el caso de los crosopterigios no se produjo un retorno a los mismos radios de aletas de sus antecesores, sino que redujeron los huesos de apoyo conseguidos en tierra firme y regeneraron las aletas lobuladas a partir de las extremidades. Al estudiarlas con detenimiento se encuentran todavía en su interior los rudimentos del húmero, del cubito y del radio. A estos animales se les conocía a través de fósiles y se creía que hacía mucho tiempo que se había extinguido. Sin embargo, todavía existen hoy, aunque en escaso número. Los pescadores de los alrededores de las Comores los conocen desde antiguo y los pescan, venden y comen. Ningún buceador ha conseguido hasta la fecha observarlos bajo el agua. Para el científico son «fósiles vivientes». Su cuerpo sigue presentando características de organización de sus antepasados que conducen a los anfibios, y pertenecen con ello también a nuestra propia línea filogenética.

Pero volvamos a la tierra y a los vertebrados que continuaron allí su evolución (tabla 1, figs. 4, 5). Los anfibios procedentes de peces se independizaron del agua sólo a medias. Sus descendientes se comportan como animales terrestres cuando

son adultos, pero su desarrollo juvenil lo continúan llevando a cabo en el agua. Tanto los tritones como las ranas nos lo demuestran. Depositan los huevos en el agua, la larva nada con aletas igual que un pez y respira por branquias. Sólo cuando han alcanzado una determinada edad, involucionan sus branquias, se trasladan a la tierra firme y comienzan a respirar con pulmones. Las aletas se convierten en extremidades, gracias a las cuales pueden desplazar el cuerpo en el medio terrestre (tabla 1, fig. 6).

Todos los anfibios actuales son descendientes de antepasados que hace 360-340 millones de años surgieron a partir de peces. Una parte de ellos se alejó de la vida acuática y se transformaron en los animales que designamos con el nombre de reptiles, es decir, lagartos, serpientes, tortugas y otros grupos. Ponen sus huevos en el suelo, por lo que éstos deben poseer una envoltura más sólida y estar más protegidos contra la desecación (tabla 6, fig. 2). El embrión ha de transformarse en su interior en un animal joven apto para la vida en tierra firme. El huevo debe disponer, en consecuencia, de más sustancias nutritivas y vitelo y, por lo tanto, es más grande. Dentro de este grupo encontramos también especies que regresaron al mar: algunas tortugas, serpientes y, sobre todo, varios de los grandes saurios ya desaparecidos. Las extremidades, también en este caso, tuvieron que adaptarse a la vida en el agua y transformarse en estructuras del tipo de las aletas. En lo que respecta al huevo se produjo una complicación inversa. Al igual que los anfibios están ligados al agua por medio de los huevos, los reptiles lo están a la tierra. Con gran esfuerzo, la tortuga marina sale del agua y se arrastra hasta el lugar de la puesta, avanza jadeante con sus aletas, que utiliza para enterrar los huevos en la arena. El ictiosaurio, por el contrario, se adaptó tan bien a la vida marina que no necesitó volver a tierra para la puesta. Se transformó en un animal marino tan perfecto como los tiburones o los teleósteos. El resultado fue, en este caso, que traía al mundo crías vivas, es decir, incubaba los huevos en su propio

cuerpo. También algunos tiburones y ciertos teleósteos alcanzaron esta forma de reproducción, que se convirtió en la norma en el caso de los mamíferos (tabla 6, fig. 3).

Estos últimos aparecieron hace 240-210 millones de años en varias líneas evolutivas a partir de los reptiles, igual que algo más tarde harían las aves. El avance fue para ambos grupos la homotermia, que representó una ventaja frente a otros vertebrados, ya que todos los procesos vitales discurren con mayor rapidez, como cualquier reacción química, en caliente que en frío. Cuando avanza el invierno las lagartijas se mueven con más lentitud, se esconden entre las grietas y cesan en su actividad. En el caso de los mamíferos y las aves, una calefacción central interna neutraliza este efecto paralizante del frío, lo que supone una considerable ventaja en invierno y en las regiones con temperaturas más bajas. Esto puede observarse con claridad en un terrario. Cuando la temperatura es alta, la víbora vence al ratón, cuando es baja sucede lo contrario.

La evolución de las extremidades se vio también afectada por este avance. Hemos hablado ya de las deficientes pinceladas del creador y de la falta de dirección que se puede observar en la orientación de la evolución de la vida: algunos animales de sangre caliente regresaron al mar. Lo mismo que para los peces era muy difícil conseguir, mediante mutación del material genético, una vejiga natatoria, y tan sólo la lograron dando el rodeo que supuso la adaptación a la vida en tierra firme, y en forma de un pulmón que llevaron consigo como trofeo al regresar a las aguas, igual de difícil era para los animales acuáticos formar, mediante alteraciones genéticas, una calefacción central interna. En tierra, debido a las condiciones evolutivas allí existentes, el hecho se produjo y algunos llevaron este progreso como nueva conquista de regreso al reino de las aguas, donde lograron una ventaja competitiva y se establecieron con éxito. Se trata de los cetáceos y los pinnípedos, y entre las aves los pingüinos. Todos ellos tuvieron que transformar las patas y alas en aletas, un proceso largo y penoso. Hubo que transformar de nuevo los huesos del húmero, del cubito y del radio. La

aleta caudal de los cetáceos y de los pinnípedos se formó a partir de un pliegue endurecido de la piel y no se apoya en ningún hueso salvo en la columna vertebral. Sin embargo, sus ventajas compensaron el camino de regreso lleno de dificultades. Los animales homeotermos tienen la misma agilidad en las aguas frías que en las tropicales. La calefacción interna produce, sin embargo, costos, ya que la energía empleada exige más alimento, pero, con todo, las cuentas salen. Se desplazan por el agua como flechas aun cuando ésta esté helada.

Antes de que pasemos al tercer momento estelar en la evolución de la mano humana, tras la formación del primer par de aletas y su conversión en patas, mencionaremos la gran diversidad de dichas patas. En el caso del caballo, los cinco dedos se transformaron, por reducción, en un único hueso portador del casco. En el topo, las patas delanteras se convirtieron en una pala excavadora. En los saurios voladores y los murciélagos se transformaron, de maneras diversas, en alas. En todos los casos el resultado final no fue consecuencia de una construcción deliberada sino que se realizó a través de rodeos y transformaciones de partes del esqueleto de formas distintas y preexistentes. Algunos huesos involucionaron completamente, otros experimentaron un gran desarrollo y otros aun se fusionaron entre sí. Estas transformaciones se produjeron gracias a cambios en el material genético. Cuáles eran eficaces y cuáles no lo decidía en cada caso el medio, el tipo de vida, la presa y los enemigos. En nuestro antecesor inmediato, el primate de sangre caliente, fue el modo de vida trepadora en los árboles de la selva lo que lo determinó. Para trepar es necesario poder asirse con fuerza a las ramas. Las ardillas lo consiguen rodeando con sus cinco dedos las ramas. Lo mismo sucede con muchos primates inferiores. Sin embargo, esto resulta más eficaz cuando uno de los cinco dedos se libera de la compañía de los restantes, se opone a ellos y forma de este modo una especie de pinza. La aparición del dedo prensil, hace 65-60 millones de años, fue el tercer momento estelar en la evolución de nuestra mano. Sólo quien lo ha perdido puede medir la importancia de su caprichosa posición. En los póngidos no puede todavía rotar,

aunque forma ya con los otros dedos una pinza. Sí, en un punto nuestros antecesores simios nos aventajaban: no sólo tenían un dedo prensil en las manos, sino también en los pies. Esta es otra prueba de lo poco cierto que es el concepto de la «irreversibilidad de la evolución». En el caso de los primates inferiores el dedo gordo del pie es paralelo a los demás, lo mismo que sucede en nosotros. Sin embargo, en nuestros más inmediatos antepasados, los primates superiores (los chimpancés todavía lo muestran), el dedo gordo giró y se opuso a los demás. Los homínidos de los que procedemos, todavía con características simiescas, pasaron a un régimen de vida en posición erguida. En aquella época, la importancia del dedo gordo del pie opuesto fue disminuyendo y acabó por convertirse en una desventaja. En consecuencia, regresó a su posición original.

Cuarto momento estelar, hace 10-8 millones de años. Nuestro antecesor simio abandonó los árboles de la selva y pasó a vivir en la estepa. El motivo por el cual sucedió esto sólo puede conjeturarse. En aquel tiempo, un período de sequía, los bosques se volvieron menos tupidos y entre ellos aparecieron las sabanas. Bajo esta «presión» puede que nuestros antepasados fueran arrojados de la espesura y obligados a buscar su alimento en otros lugares. Puede también que las sabanas resultaran ser nuevos territorios de caza, en cuyo caso nuestros antepasados no habrían sido empujados hacia ellas sino atraídos. De cualquier modo, entre los matorrales y las altas hierbas la posición erguida constituía una ventaja. El alcance de la vista es mayor y se avanza con más rapidez. Las presas son todo tipo de pequeños animales, frutos y raíces alimenticias, aunque sobre todo vertebrados herbívoros, como son los antílopes. Los pies se transformaron entonces en órganos para la carrera y las manos en órganos tanto prensiles como aptos para lanzar objetos. Estos primates depredadores, los homínidos, rodeaban en tropel a sus presas, les cortaban el paso y las capturaban (tabla 16, H). Se demostró que la eficacia de la mano podía aumentar cuando llevaba una piedra. Por último, el quinto momento estelar está relacionado con el segundo. Guarda relación con la evolución de otro órgano sin el cual nunca se habría llevado a

cabo. En el segundo momento estelar, la evolución del pulmón fue definitiva. Sin ella no se habría podido conseguir la conquista de la tierra firme. Sólo a remolque de este desarrollo las aletas se convirtieron en patas. Lo que sucedió con las manos al quedar libres cuando se alcanzó la posición erguida fue similar. Hoy seguiría siendo la mano de un simio, perfectamente adaptada para recoger frutos, hurgar en la nariz o pellizcar a los congéneres, si no hubiese caído la influencia de otro órgano en evolución. En este caso no se trata de un órgano nuevo sino del desarrollo más intenso de uno ya existente, el cerebro. Dicho con más precisión, de la corteza cerebral en la que se localiza la capacidad de asociación (tablas 10 y 18). Este desarrollo más intenso, hace 4-2 millones de años, trajo consigo la facultad de vincular causas y efectos, cosa que el antepasado primate no estaba en condiciones de hacer. Dicha facultad condujo a un considerable aumento de la inteligencia, a la comparación de los actos de los demás con los propios, a la contemplación de uno mismo. El cerebro humano comenzó a ocuparse de sí mismo y de las posibilidades de actuar sobre el entorno. La herramienta de dicha acción fue, sobre todo, la mano. Esta mano podía agarrar un palo y convertirlo en instrumento para cavar, en arma o en lanza. Esta mano podía elaborar, a partir del pelaje de un animal, una piel propia que podía quitarse y ponerse: los vestidos. Esta mano podía construir una cueva protectora artificial con las piedras y ramas esparcidas por los alrededores, una casa. Dicha mano era capaz de encender fuego y convertirlo en su servidor. La mano podía dar forma a los recipientes, fabricar adornos, construir un tambor y utilizarlo...

Este último momento estelar fue el más decisivo para nosotros, nos convirtió en seres humanos. Sólo gracias al gran desarrollo de la corteza cerebral somos capaces de escribir con la mano. Sólo gracias al especial desarrollo de otro órgano inventamos las máquinas que multiplican por millones de veces la potencia del cuerpo. Sólo gracias al desarrollo de este órgano, las manos humanas pueden construir cohetes que transportan el cuerpo humano al espacio exterior y hasta la Luna.

Nosotros mismos nos consideramos ante todo seres espirituales, y, en mayor medida, seres dotados de una mano prensil. En el caso del camaleón la mano es asimismo una pinza, lo mismo que sucede con el papagayo, aunque en su caso, igual que en los simios, continuó siendo un órgano prensil eficaz. Sólo mediante la vinculación con el órgano rector del cerebro, la mano se convirtió en el órgano más humano y sin duda, como queda especialmente claro en la actualidad, también en el más inhumano. A través de cada nueva orden, la mano realiza una nueva función y si observamos el curso de un día en nuestra vida, veremos que se producen miles de ellas, casi un número infinito. Si contemplamos las obras de la técnica y la industria, de la economía y la organización, de la cultura y el arte, topamos por todas partes con prolongaciones funcionales de nuestro cuerpo realizadas por las manos. Estas, unidas a nuestro desarrollado cerebro, han creado todo lo que llamamos progreso. Las manos, unidas a nuestro desarrollado cerebro, crean todo lo que nos conducirá, posiblemente, a una destrucción total de la vida.

II. EL CORAZÓN DIVIDIDO

En este capítulo nos ocuparemos de un órgano cuya importancia no resulta fácil dilucidar. Se trata de nuestro punto más sensible: si deja de funcionar, morimos de inmediato. Es el más trabajador de nuestros órganos, un esclavo de incomparable diligencia. Mientras el resto de los órganos son alimentados y cuidados durante largos períodos de tiempo sin que hagan nada a cambio —es decir, llevan una vida bastante tranquila—, el corazón trabaja como una máquina día y noche durante todos los años de nuestra vida.

El corazón es un órgano primitivo, una bomba nada más. Su única misión es mantener en movimiento la sangre que circula. Pero a esta función hay que añadir también algunas otras que con frecuencia se le atribuyen y que no son las propias de una bomba. Desde que existen seres humanos pensantes, se considera al corazón como la sede del amor, de la añoranza, de la tristeza y de la alegría. Se dice a veces que alguien ha muerto de pena con el corazón roto. Se afirma que el corazón tiene miedo, espera, siente pena, se ve desgarrado por la desesperación, experimenta júbilo, es fiel, bueno o duro. Al egoísta, al que no tiene corazón, se contrapone el altruista, el que tiene un corazón abierto y limpio. «Regálame tu corazón», implora el enamorado y canta el tenor. La sede del entendimiento es la cabeza; la de los sentimientos se supone desde tiempos remotos que es el corazón. En *La muerte de Wallenstein*, Schiller pone en boca de Gordon: «Cuando el corazón os avise, seguid su llamada.» Es decir, una bomba que avisa. En otro pasaje, Schiller dice; «El corazón, y no el pensamiento, ennoblece al hombre.» En otro: «Tu juicio puede errar, tu corazón no.» Nos encontramos, pues, con una bomba que da carácter y está por encima del cerebro. Pero hay más, en la Biblia según San Mateo se lee: «Bienaventurados los limpios de corazón, porque ellos verán a Dios.» Heinrich Heine llega a afirmar que: «El corazón

humano es más grande que las pirámides, más que el Himalaya, que los bosques y los mares, es más majestuoso que el Sol, la Luna y las estrellas, brilla con mayor intensidad y es más duradero, es ilimitado en su amor, ilimitado como la divinidad, es la divinidad misma.»

Si bien todo está dicho en sentido simbólico, el hecho es que hasta la fecha los sentimientos se han localizado en el corazón. Fijémonos, por tanto, en esta bomba sensible: ¿cuál es su historia?; ¿cómo y cuándo apareció?; ¿desde cuándo tiembla de amor y dolor?

En los organismos unicelulares podemos ver que no existe corazón. No necesitan un órgano de este tipo. Todas las materias que asimilan se distribuyen por sí solas a través de su cuerpo, del mismo modo que lo hace la sal disuelta en un vaso de agua. Los organismos pluricelulares más sencillos tampoco lo tienen. En el caso de los pólipos y las medusas, las materias asimiladas pasan de una célula a otra a través de las paredes celulares. Para ello, hacen uso de una ley física, la de la presión de difusión. En el caso de las esponjas, existen órganos encargados del reparto. Algunas de las células de estos organismos están especializadas en el transporte de materias: se mueven como amebas a través de los tejidos y llevan lo necesario hasta el lugar en el que se precisa, al igual que los mercaderes su género.

En el caso de los platelmintos, se observa que distribuyen de otra forma lo que ha capturado la colonia. Estos animales poseen un intestino muy ramificado, parecido a la nervadura de la hoja de una planta. Esto supone que dicho órgano ha de realizar dos tareas completamente distintas, que se interfieren mutuamente: digerir y distribuir los alimentos. Los animales pluricelulares más evolucionados han conseguido una mayor eficacia mediante una división del trabajo. La función de repartición dejó de realizarla el intestino y se lleva a cabo mediante un sistema de espacios huecos que toman el alimento del intestino y lo conducen hasta los tejidos.

El proceso por el que aparecieron dichos sistemas era secundario, puesto que ya existía la «técnica» necesaria para ello.

El inicio fueron los intersticios, espacios huecos que quedaban entre las células. En grupos animales completamente distintos se desarrollaron alrededor del intestino celomas, vinculados a este sistema intersticial. El paso definitivo fue la circulación del líquido contenido en ellos, posible gracias al movimiento ciliar, y que aumentó mucho su eficacia cuando se formaron tubos cerrados que se contraían rítmicamente y, de este modo, desplazaban el líquido hacia delante. Va sólo quedaba que apareciesen lengüetas que, al igual que las válvulas, se ocupasen de que la corriente fluyese en una sola dirección. Animales de especies completamente distintas, pertenecientes al árbol filogenético de la vida que cada vez se ramificaba más, adquirieron tubos y válvulas de este tipo. Dado que la solución práctica y adecuada era sólo una, se la «inventó» múltiples veces de manera independiente. Una evolución como ésta podía producirse por uno u otro camino mediante mutaciones genéticas, el resto del camino ya estaba marcado

El primer momento estelar en la evolución del corazón humano acaeció, cuando en la larga cadena de nuestros antepasados aparecieron sus dos elementos esenciales: un tubo contráctil y las válvulas de su interior. Este estadio se alcanzó hace 700-600 millones de años.

Algunos grupos de animales poseen todavía en la actualidad un sistema vascular abierto: un corazón en forma de tubo que, dentro de la cavidad celómica, hace circular la sangre. Esto es lo que sucede en todos los insectos y gasterópodos. El corazón bombea el líquido en una dirección, por lo general hacia delante, hacia la cabeza, y por dentro del celoma fluye en dirección opuesta, de regreso. Nuestros antepasados más primitivos debieron alcanzar muy pronto un sistema tubular cerrado que absorbía el alimento mediante conductos finos a través de las paredes del intestino y lo conducía, mediante tubos ramificados, a todos los órganos, ramificándose también aquí también en conductos finos para devolverlo de nuevo, a través de otros conductos, al intestino. Se puede decir que un sistema

de este tipo es un corazón. En varios lugares del conducto existen segmentos contráctiles y válvulas que impiden el regreso del líquido.

Antes de que pasemos a observar el anfioxo, esta reliquia viviente que nos informa hoy de la estructura orgánica de nuestros antepasados, para ver lo que sucede en su caso, hay que indicar que esta circulación pronto tuvo que hacerse cargo de otras funciones. Igual que poco a poco se van cargando bultos sobre un asno, al sistema circulatorio le sucedió lo mismo a lo largo de su evolución. Lo primero fue que las diversas células individuales de una colonia celular de este tipo, denominada *pluricelular*, no sólo tenían que recibir alimentos sino que también producían desechos. En el proceso de aprovechamiento y elaboración de las sustancias nutritivas se generan residuos que deben eliminarse. Si la colonia no es demasiado grande, esto puede realizarse a través de la pared celular hacia el exterior, pero si no es posible, sobre todo cuando el cuerpo está envuelto en una coraza, entonces es necesario un sistema de eliminación parecido a las tuberías de los desagües; el sistema circulatorio resulta adecuado para tal función, puesto que al pasar puede llevarse los residuos. Evidentemente, éstos deben salir de algún modo al exterior. Lo más sencillo sería que el intestino los recogiera de nuevo. Sin embargo, no lo hace, ya que, al parecer, eso perturbaría su principal misión: la de absorber el alimento. En casi todos los grupos animales se forman órganos especializados que eliminan los residuos de la sangre. Se trata de los *nefridios*, que en el caso de los vertebrados se transformaron en *riñones* de estructura muy compleja. A través de conductos propios, las aguas residuales van a parar a la salida del intestino o directamente al exterior (tabla 7).

Sin embargo, el asno recibe más carga, ya que las células no sólo necesitan recibir alimento y eliminar sus residuos sino que precisan oxígeno para elaborarlo. Si la colonia celular es pequeña, éste puede obtenerse, mediante presión de difusión directamente del exterior. Sin embargo, si el cuerpo aumenta de tamaño, esto ya no es posible. En este caso, algunas células deben especializarse en la obtención de gas que se encuentra

en el ambiente, principalmente en el agua. Las estructuras que forman reciben el nombre de *branquias*. El sistema circulatorio debe adoptar ahora un camino algo más complicado. En su recorrido desde el intestino hasta los tejidos, debe pasar a través de esas branquias, ramificándose nuevamente a través de capilares muy finos para poder recoger así el gas. Ahora no sólo transportan alimento a las células sino también el gas necesario para su elaboración. Pero no basta con ello: al sistema circulatorio se le adjudica una función más. En el curso de la elaboración de los alimentos en el interior de las células, se consume oxígeno y se produce dióxido de carbono, gas venenoso para las células. Parece lógico que también este producto residual sea eliminado a través del sistema circulatorio, siendo en este caso también más sencillo librarse de los residuos. Mientras que el intestino es incapaz de aceptar de nuevo los residuos sólidos, las branquias permiten, sin más, que el cuerpo elimine lo que le resulta perjudicial. Igual que la presión de difusión introduce el oxígeno en la sangre, extrae el exceso de dióxido del cuerpo a través de las branquias. Ahora podemos observar, con más detenimiento, las condiciones que se dan en el anfioxo.

Este organismo pluricelular es tan grande que no puede eliminar los residuos directamente a través de la piel ni absorber directamente del exterior el oxígeno o desprenderse del dióxido de carbono. Todo esto lo realiza un sistema vascular cerrado que rodea el intestino y las múltiples aberturas branquiales con finísimas venas. Los canalículos de los riñones que extraen los residuos de la sangre se encuentran en el extremo superior de las branquias. Es un lugar más bien curioso, que en el caso de sus descendientes peces y vertebrados terrestres se desplazó hacia el extremo posterior. Sin embargo, en principio su localización es indiferente, lo que importa es su función: la eliminación de los residuos. A través de los canalículos renales, situados cerca de las branquias, llegan por ambos lados a un espacio vacío que desemboca, por debajo del intestino y delante del ano, hacia el exterior.

Hasta aquí todo va bien. Entretanto, hemos descubierto otra de las trayectorias que realiza este sistema circulatorio. Una

vez que ha rodeado el intestino y se ha hecho cargo de sus residuos, pasa a otro órgano en el que se ramifica. En todos sus descendientes sucede lo mismo, y en ellos dicho órgano recibe el nombre de *hígado.* Tiene innumerables tareas sobre las que volveremos más adelante. En el caso del anfioxo se trata de un saco ciego que secreta los fermentos digestivos. Más tarde, se convierte además en un almacén de sustancias nutritivas que, en caso necesario, pueden verterse a la sangre. Desde este órgano, el líquido circulatorio va hasta las branquias, donde toma el oxígeno y se desprende del dióxido de carbono, vierte los residuos en los canalículos renales y fluye por último, a través de múltiples ramificaciones, hacia los tejidos del extremo anterior, carente de cerebro y de ojos, hasta los músculos del tronco y de la cola y más tarde, de vuelta, al intestino.

Es evidente que dicho sistema circulatorio presupone la existencia de una intensa actividad de bombeo. En numerosos sectores del conducto tubular se desarrollan secciones contráctiles y sus correspondientes válvulas, y además algunas de dichas secciones se han especializado en el trabajo de bombear. Están situadas por delante de las branquias y, con ello, en un lugar favorable. Son prolongaciones que reciben el nombre de «corazón branquial». Habida cuenta de que algunos anfioxos no tienen menos de 200 arcos branquiales, disponen de igual número de corazones de este tipo. Queda así muy claro dónde puede producirse una mejora: la posición de los arcos branquiales es favorable, si bien las numerosas bombas individuales se pueden concentrar, por mor de una racionalización y concentración de funciones, mucho mejor en un corazón único y, en consecuencia, mejor desarrollado. Este paso representa el segundo momento estelar de la evolución hacia los auténticos peces, dotados ya de una cabeza con ojos. Tuvo lugar hace aproximadamente 500-480 millones de años. Lo que en un principio eran simplemente elementos estructurales, conducto contráctil y válvulas, se consolidó a modo de un órgano central que llamamos corazón. Los peces más primitivos que conocemos ya lo presentan. Está constituido por dos secciones: una

aurícula que absorbe y un ventrículo que empuja. En sus entradas hay válvulas que impiden el reflujo, al igual que en la salida del ventrículo, encontrándose muchas otras en el sistema de venas que conducen de nuevo al corazón.

En este estadio tan temprano el corazón impone ya sus exigencias. En primer lugar, los órganos vecinos no deben impedir sus movimientos, no deben rozarle. Solución funcional: el pericardio. Las células forman alrededor de la bomba una cámara llena de líquido en la que puede expandirse y contraerse sin traba alguna. En segundo lugar, se precisa una red nerviosa que le marque al corazón su ritmo. También se consiguió una estructura de este tipo. En tercer lugar, esta red nerviosa se vincula con la médula espinal y el cerebro, para que el corazón lata con mayor rapidez cuando la situación lo requiera. Cuando se persigue una presa, o cuando uno mismo es perseguido como tal, los músculos deben rendir al máximo, es decir, necesitan más energía, más alimento, más sangre, por lo que la bomba debe bombear con mayor intensidad.

Para llegar al tercer momento estelar queda todavía un largo camino por recorrer. En la fase evolutiva alcanzada, el sistema circulatorio se ha convertido ya en un órgano vital que hay que proteger del exterior. Cualquier mordisco de un enemigo deja al descubierto el sistema de conductos, con lo que se vierte hacia el exterior el valioso líquido sanguíneo, que se pierde. Por ello, desde muy pronto, unas células tuvieron que especializarse en evitar esta catástrofe. El organismo segrega en la sangre sustancias que, en contacto con el agua, y más tarde con el aire, forman una red de taponamiento. Junto con otras células que se mueven dentro del líquido circulatorio, los trombocitos, constituyen un tapón que evita e interrumpe el flujo hacia el exterior de la sangre a través de las heridas. Asimismo, el sistema de tubos se convierte en vía de transporte de una policía interna. Si penetran en el cuerpo organismos unicelulares enemigos, otras células especializadas los combaten. Tienen forma de amebas y devoran las bacterias intrusas, lo mismo que hacen las amebas libres. Se les llama *leucocitos*, son los glóbulos blancos (tabla 19, fig. 2). También ellos eliminan residuos.

Como muestra nuestro propio cuerpo, son un máximo exponente de sacrificio. Si penetran en él muchos enemigos, a los que llamamos *agentes patógenos,* engloban el máximo número posible de ellos y abandonan el cuerpo con esta peligrosa carga. Lo único que se nos ocurre decir entonces es: ¡qué asco, pus! El pus despierta en nosotros una repugnancia innata, puesto que contiene sustancias dañinas. En realidad, no es más que un Inmenso ejército de órganos celulares que se han sacrificado por el resto de la comunidad. Si nuestro «yo» reconociese el mundo tal como es, sentiríamos respeto por cualquier gota de pus. Si bien no hay quien gane a nuestro corazón en espíritu de servicio, nuestro cuerpo le alimenta y vigila, y cada una de sus células se mantiene con vida durante el máximo tiempo posible. Las células que llamamos glóbulos blancos se sacrifican, siempre que sea necesario, por la comunidad y terminan con ello su vida.

El anfioxo carece de leucocitos, mientras que las primitivas lampreas sí disponen de ellos. Estas últimas debieron aparecer en nuestro árbol genealógico hace 550-480 millones de años entre los agnatos. A más tardar hace 500-400 millones de años apareció la capacidad de formar anticuerpos, otra fuerza de choque: moléculas especializadas en rechazar cuerpos extraños perjudiciales que hayan penetrado en el interior del organismo. Acto seguido, la circulación sanguínea se empleó como vía de emisión de mensajes, dado que pasaba sólo una vez. Las glándulas que emiten sustancias que, al igual que una carta, se reciben en otro lugar y cuyas instrucciones se cumplen, son las hormonas. Volveremos sobre esto más adelante. Por último, más o menos hacia el mismo período, aparecieron un gran número de células de tipo similar llamadas *eritrocitos, o* glóbulos rojos. En un principio, en la sangre se vertía sólo una sustancia especial que mejoraba el transporte del oxígeno, la hemoglobina; más tarde, algunas células se especializaron en esta función. En el caso de los peces, anfibios, reptiles y aves, se trata de auténticas células nucleadas, en el caso de los mamíferos son células que nacen anucleadas y por lo tanto son más pequeñas. Ventaja: pueden pasar así a través de tubos estrechos, los

capilares. Desventaja: sólo viven entre 90 y 120 días y deben renovarse constantemente. En el caso del ser humano, son más de 150.000 millones por día. De este modo, la circulación sanguínea fue desempeñando cada vez más funciones, lo que provocó otro problema, la necesidad de que éstas no se interfieran.

Cuando los primeros animales iniciaron la conquista de la tierra firme, se produjo otro importante problema, el del paso de la respiración branquial a la pulmonar. La circulación sanguínea tenía que ramificarse en un nuevo órgano, hacerse cargo allí de todo lo necesario y entregar lo superfluo. Esta función la asumió una ramificación de los vasos branquiales, formándose una segunda aurícula del corazón, que introduce la sangre proveniente del pulmón en el corazón y la conduce, a través del ventrículo, al sistema circulatorio. De este modo, en todos los anfibios el corazón tiene dos aurículas y un ventrículo. La desventaja es que en el ventrículo se mezcla la sangre rica en oxígeno procedente del pulmón con la que ha circulado ya por el cuerpo, cargada de sustancias residuales.

En el caso de los mamíferos y las aves, el sistema circulatorio doble es perfecto. El corazón se ha dividido. Dispone ahora de dos aurículas y de dos ventrículos. Prácticamente se trata de dos corazones, dos bombas separadas. La una recibe la sangre que procede del intestino, el hígado, los riñones y el resto del cuerpo y la bombea hacia el pulmón. La segunda, recibe la sangre procedente de este último y la bombea hacia las células del cuerpo, el intestino, el hígado y los riñones.

Los descendientes actuales de los antepasados de las distintas épocas de esta evolución (tabla 2) muestran con gran claridad cuán difícil y trabajoso fue el camino para conseguir pasar de la respiración branquial a la pulmonar perfecta. Cualquier estudiante de zoología tiembla cuando tiene que dar cuenta de cómo, por un lado, las arterias se transformaron, poco a poco, en venas branquiales y, por otro lado, de cómo apareció el sistema tubular necesario para la circulación de la sangre hasta los pulmones, en parte por transformación y en parte por nueva formación. En esta evolución se ve con toda claridad que no hubo intervención alguna de un creador. Si éste hubiese

deseado y propiciado en realidad todo el desarrollo que culminó en el ser humano, habría de admitir entonces que durante este largo período se había tomado un descanso. La imagen se caracteriza por un caótico hacer y deshacer caminos. En los momentos de aquel período, hace 410-220 millones de años, un cambio casual en la herencia introdujo una mejora en la competitividad de las nuevas formas, lo que hizo que pudieran imponerse y reproducirse mejor, es decir, que dicho cambio propició que la evolución prosiguiera. Allí donde no sucedió así, las especies afectadas tuvieron dificultades para imponerse. Algunos cambios evolutivos fueron ventajosos sólo en parte, y más tarde resultaron ser un callejón sin salida.

Se podría escribir todo un libro que tratara simplemente del destino de los vasos sanguíneos que alimentaban a los diversos arcos branquiales. El punto final, la aparición del corazón doble, se alcanzó dos veces y de dos formas diferentes: en los mamíferos y en las aves. Ambos grupos animales derivan de los reptiles: los mamíferos aparecieron en varias líneas evolutivas hace 240-210 millones de años y las aves hace 200-150 millones de años. En ambos, la arteria principal que alimenta el cuerpo procede de la cuarta arteria branquial de sus antepasados peces. En el caso de los mamíferos lo hace del arco derecho y en las aves del izquierdo. En cada uno de los casos, el arco contrario experimentó una regeneración. No puede decirse cuál de las dos soluciones de esta transformación fue la más sencilla. A fin de cuentas, ambas cumplen idóneamente su función y en igual medida. Tanto en una como en otra, la circulación general se ha separado de la pulmonar. En ambas casi han desaparecido los restos de los vasos branquiales no utilizados. En una y otra los embriones nos muestran, al disponer al principio de vasos branquiales, cuán complicado es el camino de esa transformación, y cómo recapitulan por lo tanto la evolución producida a lo largo de 200 millones de años.

Es interesante observar en este punto lo que sucedió en los otros dos grandes animales que conquistaron la tierra firme. ¿Qué sucedió en este caso con las branquias, la circulación sanguínea y el corazón? En ambos casos, tanto en los moluscos

como en los artrópodos, no se produjeron complicaciones análogas, ya que no desarrollaron un sistema circulatorio cerrado. En ambos, los órganos se encuentran dentro de una cavidad corporal llena de líquido sanguíneo y un corazón central se ocupa de que dicho líquido se mantenga en movimiento. En el caso de los moluscos, curiosamente, el intestino discurre de modo transversal a través de la cámara cardiaca, lo que evidentemente no supuso ninguna desventaja, ya que, de lo contrario, este grupo tan rico en especies no se habría conservado. En el caso de los gasterópodos que se aventuraron en la tierra firme, las branquias situadas en una cavidad protegida experimentaron una involución y la pared interna de dicha cavidad se transformó en un órgano respiratorio. Estos animales se mueven con lentitud, no corren, no saltan ni vuelan, por lo que la cantidad de oxígeno necesaria no es excesivamente grande. Los gasterópodos no han progresado mucho en tierra firme. Los artrópodos, al igual que, por ejemplo, los crustáceos, desarrollaron un caparazón externo que en tierra firme se convirtió en una ventaja y al mismo tiempo en un inconveniente (tabla 15). Una ventaja porque en cierta medida protegía su cuerpo de la desecación. Un inconveniente porque en tierra se hizo muy pesada y por ello sólo logró imponerse en formas relativamente pequeñas, si bien muy perfeccionadas. Hay más especies de insectos que del resto de todos los animales terrestres, conociéndose en la actualidad más de 800.000. En su caso, la circulación sanguínea es asimismo abierta: un tubo provisto de válvulas bombea el líquido sanguíneo en el seno de la cavidad corporal, hacia atrás y hacia delante. Los insectos obtienen el oxígeno necesario, igual que las arañas y los restantes artrópodos que conquistaron el medio aéreo, a través de un sistema tubular: las tráqueas. Envuelven los diferentes órganos y desembocan, a través de múltiples aberturas del caparazón, al exterior.

El tercer momento estelar en la evolución de nuestro corazón se produjo hace aproximadamente 240-210 millones de años, cuando se completó en nuestros antepasados mamíferos la formación de un corazón doble. Asimismo, a partir de una única circulación sanguínea surgieron dos: el asno cada vez

más cargado, tenía un compañero que aligeraba sus cargas. Dado que este último sólo debía ocuparse de la función del intercambio gaseoso dentro del pulmón, gozaba de una gran ventaja, puesto que este proceso exige bastante menos trabajo. Los músculos del segundo corazón son, por consiguiente, más débiles. En el caso de los seres humanos, la capa muscular que envuelve la mitad izquierda del corazón tiene un espesor tres o cuatro veces mayor que la de la derecha.

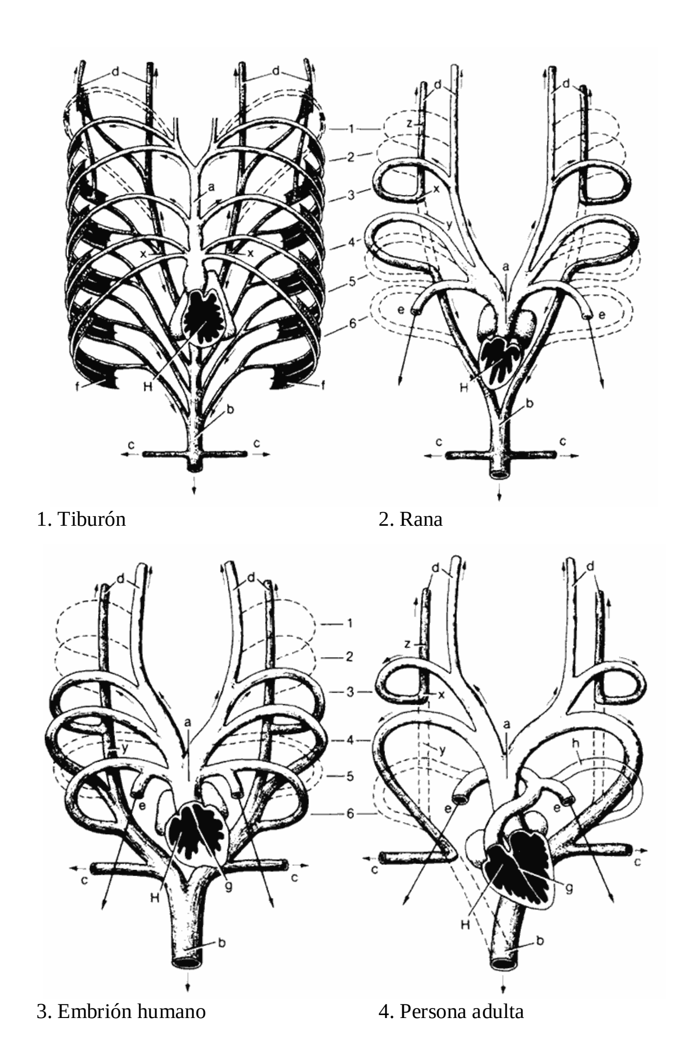
Esta articulación era ya lo suficientemente fuerte como para soportar una nueva carga. Antes de considerarla, revisemos las funciones que debió realizar hasta aquí la circulación sanguínea. En primer lugar, su tarea era la de hacerse cargo de las sustancias alimenticias disgregadas en el intestino y de repartirlas por todos los órganos del cuerpo. A ella se sumó la de expulsar los residuos producidos; el proveedor de energía y alimento asumió de este modo una función secundaria como órgano de expulsión de residuos. Como unidad auxiliar, aparecieron los riñones y la eliminación se produjo a través del extremo del intestino o mediante una abertura especial muy próxima a él. Con el crecimiento del cuerpo también hubo que suministrar oxígeno a los tejidos, y la circulación sanguínea se hizo asimismo cargo de esta función. De nuevo fue necesaria una unidad auxiliar, las branquias, que se encargaron de la eliminación de los residuos gaseosos, del dióxido de carbono. Al asno le habían cargado con cuatro tareas. Además, el sistema circulatorio se convirtió también en una vía de comunicación, lo cual supuso una quinta carga. Primero para órganos de policía en forma de células o moléculas especializadas. Segundo, para un correo neumático que podía utilizarse libremente.

TABLA 2. Pruebas de que el hombre y todos los vertebrados terrestres proceden de antecesores peces

Figuras: muestran de manera esquemática el corazón y las arterias branquiales **1** del tiburón, **2** de la rana, **3** de un embrión humano y **4** de un hombre adulto. H = corazón (mostrado en corte), 1-6 = arcos branquiales, a = tronco arterial, b = arteria dorsal, c = arteria de las extremidades anteriores, d = arterias cefálicas, e = arterias pulmonares, f = capilares branquiales, g = septo ventricular, h = conducto de Botal. Líneas de puntos =

vasos esbozados en el embrión pero que no son funcionales. Línea doble de puntos = vasos que todavía son funcionales en el embrión pero que involucionan en el animal adulto, x, y, z = se explican en el texto.

Comparando el corazón y las arterias que parten de él en el tiburón y los seres humanos (1, 4), se obtiene una imagen muy diferente. En el tiburón el corazón (H) sólo tiene un ventrículo desde el que la sangre es empujada hacia el tronco arterial (a), que se divide en seis arcos branquiales (1-6). En los capilares branquiales (f) finamente divididos tiene lugar el intercambio gaseoso con el agua, a continuación la sangre se reúne en la arteria dorsal (b) que la conduce al cuerpo, mientras que dos ramas (d) riegan la región cefálica. El ser humano (4), por el contrario, tiene un corazón dividido y una «circulación doble». Un ventrículo bombea la sangre hacia las arterias pulmonares (e) y el otro lo hace con la sangre regenerada procedente de los pulmones (no se ilustran las venas), dirigiéndola hacia el cuerpo y la cabeza (b, d). Sin embargo, si examinamos el curso de los vasos en el embrión humano (3), no pueden pasarse por alto las coincidencias con el tiburón. Así por ejemplo, lo mismo que éste, el embrión humano dispone primero de seis arcos branquiales, incluso del primero que ya dejó de ser funcional en los tiburones primitivos hace 430-400 millones de años (pág. 156). El corazón del embrión tiene también al principio sólo un ventrículo, que más tarde se divide gracias a un pliegue (g). Los vasos (c) que en el tiburón riegan las aletas pectorales alimentan en el hombre los brazos, que se desarrollaron a partir de aletas pectorales (tabla 1). Muy ilustrativa es la situación en la rana (2). En este caso vemos cómo, a ambos lados, surgen las arterias pulmonares (e) por ramificación del sexto arco branquial. Cuando la rana es todavía una larva (renacuajo) respira por branquias y hasta que no es adulta no pasa a la respiración pulmonar. En el caso de los seres humanos, el niño no comienza a respirar con sus pulmones hasta el momento del nacimiento. El «llanto» del recién nacido es su primer aliento. Hasta este punto el conducto de Botal (h) ha mantenido el camino de la sexta arteria branquial, después experimenta una regresión. En el tiburón (1), los vasos del tercer arco branquial desembocan en el punto «x» en la arteria dorsal, a partir del cual la corriente sanguínea circula asimismo en el sentido de la cabeza (flecha). En la rana, la unión entre el tercer y el cuarto arco branquial (y) involuciona, de modo que sólo el tercer arco branquial alimenta la región cefálica (z). También en el caso del embrión humano existe al comienzo esta unión (3), mientras que involuciona en el adulto (4) de modo que aquí la cabeza se riega a través de la tercera arteria branquial (x, z). Los embriones de todos los vertebrados terrestres siguen mostrando esta drástica remodelación, que fue necesaria en el paso a la respiración pulmonar. Si el hombre hubiera sido creado deliberadamente como ser terrestre, o a imagen y semejanza de Dios, las vías de sus vasos habrían sido ciertamente otras. ►



1. Tiburón
2. Rana
3. Embrión humano
4. Persona adulta

Desde algún punto del sistema circulatorio se transmitía a la sangre un mensaje, en forma de hormona, que al llegar al receptor le comunicaba el aviso. Además, el sistema circulatorio tenía que transportar unidades que actuaban, en caso de he-

rida, como protectores, cerrando a modo de verja la zona lesionada. Todo esto, y algunas otras cosas, debían mantenerse en constante actividad en el interior del cuerpo. Para ello los tubos tenían que ramificarse en el interior de los tejidos, así como en la pared del intestino, en el hígado, en las branquias y en los riñones, lo cual aumentaba la resistencia y requería una mayor cantidad de energía. Es decir, son lugares donde el asno tiene que subir una cuesta. A todo esto hubo que sumar el paso a la respiración pulmonar, que durante algún tiempo desequilibró todo el sistema. Unos tubos resultaron superfluos y tuvieron que formarse otros: hasta que no se consiguió el sistema de la doble circulación no quedó resuelto el problema. Junto al animal de carga ya sobrecargado trotaba ahora un camarada útil unido a él como un hermano siamés. Si tenemos esto en cuenta, pasamos de admirar el corazón a reverenciar el órgano que es la sangre. Si nos cortamos un dedo, vemos que la sangre que brota no es otra cosa que un líquido rojo. Sin embargo, ¡qué cantidad de cosas hace! ¡Qué cantidad de funciones vitales tiene encomendadas! Visto de este modo, el corazón, la bomba, tan sólo es un sirviente necesario. Incluso formando pareja, este corazón lo único que hace es bombear, a no ser que seamos injustos con él y que tenga en realidad otras funciones: excitar nuestros sentimientos amorosos, avisarnos de los peligros, proteger nuestros actos de los sentimientos de culpa y similares.

Por lo tanto, esperemos. Antes de llegar a este punto, la circulación sanguínea se hace cargo de otra función. En el caso de los mamíferos y de las aves, hace 220-190 millones de años, se convirtió también en calefacción central interna. Existía el combustible necesario para ello: en primer lugar las reservas almacenadas en el hígado. Quemándolas se puede aumentar la temperatura de la sangre. Las ventajas de gozar de independencia con respecto a la temperatura externa son evidentes: cuando desciende la temperatura todos los procesos se vuelve más lentos, también los que tienen lugar en el hígado. Una calefacción como ésta requiere ciertas cosas. En primer lugar, una capa aislante para que no escape el calor generado con esfuerzo. En el caso de los mamíferos está compuesta por pelos sobre una capa

de grasa, y en el de las aves por plumas. Estas últimas, en una función doble, brindan también valiosísimos servicios durante el vuelo. En segundo lugar, se necesita un termostato para no calentar deficientemente o demasiado. El problema se solucionó de diversas formas, con la respiración. También aquí los movimientos del pulmón deben adaptarse a las exigencias. Más oxígeno requiere una actividad respiratoria más rápida, menos oxígeno una más lenta. Un circuito nervioso interno lo permite: en principio de modo idéntico a como lo hace el termostato con la calefacción de una vivienda. El sistema nervioso formó un termostato de este tipo como órgano auxiliar de la homeotermia.

El cuarto momento estelar fue hace 220-190 millones de años, cuando nuestros antepasados se transformaron en mamíferos y la circulación de sangre doble se hizo cargo de otra función, la de distribuir el calor por el interior del cuerpo. Sin embargo, otra consecuencia fue que el tamaño del corazón dependiese del corporal. ¿Cómo? Muy sencillo: si un cuerpo crece, aumenta su superficie con el cuadrado (en el caso del cubo $6a^2$), mientras que el volumen lo hace con la tercera potencia, con el cubo (en el caso del cubo a^3). Esto significa que un cuerpo pequeño tiene, en comparación con su volumen, una superficie relativamente grande. Dado que el calor se pierde a través de ésta, los cuerpos pequeños deben calentarse más. Para calentar más, debe llegar más combustible y oxígeno a la caldera, es decir, el corazón debe trabajar más. Por este motivo, los animales homeotermos grandes tienen un corazón relativamente menor que el de sus parientes de especies menores. Ejemplos: el peso del corazón de un búho de 2 kg de peso supone el 0,5% de su peso total, mientras que para el mochuelo común, que es diez veces más ligero que él, esta proporción es del 0,8%. En el caso de la rata común que pesa 200 g, el peso de su corazón supone un 0,4%, mientras que para el ratón espiguero, cuyo peso es de 5 g, esta proporción alcanza un 1,3%. En este mismo sentido, encontramos que, por regla general, las crías de los mamíferos tienen un corazón relativamente mayor que los adultos.

El incansable sistema circulatorio se hizo cargo de otra nueva tarea. En el marco de la bisexualidad, sobre cuya importancia funcional hablaremos más adelante con detalle, posibilita entre los mamíferos el apareamiento. El órgano genital, el pene, está dotado de cuerpos esponjosos de forma tubular que durante la excitación sexual se llenan de sangre (tabla 8, fig. 1, a, b). La sangre penetra en estos tubos siguiendo unas órdenes nerviosas y otras hacen que los músculos anulares impidan su salida. Por consiguiente, el miembro se endurece y la cantidad de sangre que contiene se extrae a la circulación general. Todas las sustancias mensajeras y los órganos de policía que caen en esta trampa se ven forzados a esperar hasta que desciende la excitación sexual y la sangre retenida puede continuar fluyendo.

El quinto momento estelar en el curso evolutivo de nuestro corazón se produce apenas 4-2 millones de años. El mismo corazón no experimentó en esa ocasión el más mínimo cambio, si bien se estableció una relación muy estrecha con otro órgano en desarrollo. Al igual que en el caso de la mano, se trató de una relación con el cerebro: con la corteza cerebral, que ahora se desarrollaba con vehemencia, es decir, con aquel órgano a través del cual el ser humano fue capaz de verse a sí mismo como objeto, de reflexionar sobre sí, de observarse y de dar significado a su persona y a sus sentimientos. En el caso de la mano, esta relación condujo a un progreso decisivo, la base de nuestra propia existencia humana actual. En el caso del corazón, por el contrario, dio lugar a un error curioso. El yo pensante dotado de conciencia, incapaz de verse a sí mismo y a su entorno de modo objetivo, puso esta bomba que latía sobre un pedestal, lo convirtió, simultáneamente, en sede de nuestros confusos sentimientos, lugar en el que se encuentra un alma incorpórea, incluso en miembro de vinculación inmediata con fuerzas superiores a las que el ser humano debe rendir cuentas, que observan su quehacer y valoran, premian y castigan sus actos.

Lo que llamamos «sensaciones», las experimentamos en el mismo lugar donde se producen. Si nos quemamos los dedos,

sentimos en ellos el calor. Los sonidos los percibimos en el oído, la luminosidad en el ojo, el olor en la nariz, el gusto en las papilas gustativas del paladar y el dolor en todos aquellos lugares en los que nos duele. Un campo intermedio hacia los «sentimientos» lo constituyen todas aquellas áreas de la experiencia en las que salen a relucir nuestros impulsos. El acto sexual lo consideramos como sentimiento. Igualmente, la satisfacción del hambre, el miedo ante el peligro, la alegría por la acción llevada a cabo, el sacrificio por las metas de la comunidad. Nuestra vida instintiva, así como los instintos adquiridos y nuestras costumbres, dan lugar en nosotros a un amplio espectro de sentimientos muy diversos. Oscilan entre el placer y el displacer, la excitación y el reposo. Sin duda se encuentran localizados en el sistema nervioso, si bien, mientras que los nervios son órganos que perciben y transmiten los estímulos, no disponemos de ningún órgano que nos permita percibir la excitación de los nervios. O quizá sólo disponemos para ello de un único órgano, nuestro corazón, ya que durante la excitación nuestro sistema nervioso ordena al corazón que lata más aprisa. ¿Por qué? Porque la excitación aparece cuando hay un gran peligro o una circunstancia favorable única, es decir, en situaciones en las que es muy importante la capacidad de rendimiento y la rapidez de reacción de nuestro cuerpo y de nuestras aptitudes intelectuales. Sin embargo, esto exige más energía, por lo que se le da la orden al corazón de que bombee con más rapidez. En cualquier caso, ya sea una experiencia favorable o desfavorable, es importante que dispongamos de más energía, es decir, que se bombee con más rapidez.

El lugar en el que se encuentran nuestros instintos son las partes más antiguas de nuestro cerebro, en especial el diencéfalo, pero el lugar principal en el que se encuentran nuestros sentimientos está en otra parte. Se localiza en las áreas de la corteza cerebral en las que se produce la capacidad especial que llamamos nuestra imaginación, nuestra capacidad de representación. Allí, en el auténtico centro de nuestro «yo», podemos simular cualquier situación y actuación imaginables. Podemos vivirla en el pensamiento sólo o llevarla a cabo. En nuestra

imaginación podemos activar cualquier instinto y desactivarlo parcialmente, podemos proyectar acciones e investigar sus posibles consecuencias, sin necesidad de llevarlas a cabo. En el mundo de nuestras representaciones podemos ser, sin peligro, héroes, santos o delincuentes, podemos poner el mundo entero patas arriba.

Desde esta área de nuestro cerebro fluye también una conexión nerviosa con el corazón, la excitación pone en marcha un bombeo más rápido, una excitación producida por tanto a través de nuestras propias representaciones. Dado que no disponemos de ningún órgano sensorial en el lugar en el que se originan estas representaciones, transferimos los sentimientos allí generados al corazón, que se siente fustigado sin motivo. Sin motivo, porque los procesos que se realizan en nuestra imaginación no precisan en modo alguno de una aportación superior de energía a nuestros órganos. Se trata, por así decirlo, de un error. Debido a este error, se llega a la creencia, completamente falsa, de que los sentimientos se albergan en el corazón.

«Quien siente con intensidad padece mucho», afirmó Leonardo da Vinci. Esto es seguramente cierto, pero hay que añadir: y tiene también muchas alegrías. Ya que quien dispone de una imaginación moderada y a quien los instintos le afectan de un modo templado, vive con mayor tranquilidad, con una excitación menor, procedentes de las experiencias mentales. «El sentimiento es todo; el nombre es ruido y humo, brasa celeste que nos envuelve», dice Goethe en el *Fausto*. Seguramente también esto es cierto, ya que el ser humano se despliega en el mundo de los sentimientos, nuestra imaginación está en el origen de nuestras artes, del refinamiento humano y de la cultura. Para los ámbitos de nuestra imaginación no disponemos, sin embargo, de ningún órgano sensorial propio. Por ello, transferimos sus efectos al órgano sobre el cual actúan de forma inmediata, es decir, a una bomba que, de hecho, no desempeña ningún papel. Esta es la causa de que el corazón humano viviese un quinto momento estelar. Fue elevado, de modo tan gratuito como inmerecido, a la categoría de templo, incluso a la de divinidad.

III. LA BOCA VERSÁTIL

Al contrario que nuestro corazón, esa monótona bomba, la boca es un órgano muy versátil. Al igual que la circulación sanguínea, se fue haciendo cargo paulatinamente de un mayor número de funciones. Con ella bebemos, agua por necesidad y, además, zumos azucarados y alcohol. Comemos con ella, alimentos por necesidad y, si es posible, aquellos que más nos gustan. Respiramos a través de ella, aire por necesidad, aunque algunos combinan esto con la inhalación de un veneno excitante, la nicotina. Con ella hablamos, por necesidad dentro del marco de una sociedad organizada y, además, por placer y sin un fin utilitario. Cuando hace frío y nuestros dedos se agarrotan en los guantes, proyectamos con la boca aliento y así, les calentamos. Besamos al niño, los labios de nuestra pareja y, en ocasiones, cualquier otra parte de su cuerpo amado. Ninguno de nuestros órganos táctiles es tan sensible como la boca, los labios o la lengua. Lo que apreciamos, admiramos y amamos con mayor intensidad lo tocamos con la boca.

¿Dónde se originó esta abertura de tanta importancia a la que llamamos boca? Una abertura lleva aparejada consigo algo negativo. Si tenemos un agujero en un calcetín, si falta algo del revestimiento protector de nuestros pies, lo que haremos es cerrarlo lo antes posible. Sucede lo mismo cuando nuestra valla está rota o cuando un escollo o un torpedo abren un boquete en el casco de un buque. Por el contrario, en nuestra cabeza un orificio como éste nos brinda buenos servicios.

Si observamos a nuestros parientes las plantas, un almendro, una lechuga o un abeto, no vemos en ningún lugar un orificio de este tipo. Hemos llegado así a un punto decisivo: la diferencia entre la totalidad de las formas vivas animales y la de las vegetales. La diferencia radica en la manera como adquieren la energía necesaria. ¿Qué es la energía? Ningún físico los sabe. Lo único que sabemos es lo siguiente: sin ella no hay

movimiento, progreso, evolución, ni tampoco pensamiento, música o religión. Todo esto necesita algo que únicamente la energía proporciona. La energía aparece en formas muy diversas: tensión eléctrica. movimiento de los cuerpos, calentamiento o explosión lograda mediante procesos químicos, la fuerza de atracción de la Tierra, las fuerzas ligadas a los átomos, todas éstas son formas de la energía. Ningún animal ni planta pueden existir sin obtener de alguna fuente este algo tan especial y valioso. En el caso de las plantas que nos rodean, la fuente de energía la constituyen los rayos solares, mientras que todos los animales obtienen la energía comiendo plantas u otros animales y apropiándose de la energía almacenada en sus tejidos. Para apropiarse de los rayos solares, sin embargo, no se precisa de ninguna abertura, no hace falta ninguna boca, mientras que para hacer lo propio con los tejidos de las plantas o de otros animales, ésta sí es necesaria. Aquí radica esa importante diferencia. Por este motivo, y sólo por ello, tanto los animales como nosotros mismos disponemos de una boca llena de dientes, mientras que nuestros parientes las plantas carecen de ella.

En el caso de los vegetales, los rayos luminosos penetran por sí solos en el interior de los órganos, que recogen su energía. Se trata de cuerpos redondos y verdes situados en sus hojas: los plástidos (tabla 20, fig. 2). La habilidad de las plantas consiste en que transforman la luz en energía química que, a partir de minúsculos átomos, elabora moléculas igualmente minúsculas, es decir, que encierra la energía luminosa en jaulas. De este modo aparece una estructura orgánica, material para la construcción de ramas, raíces, hojas, frutos y semillas. No es perder el tiempo contemplar alguna vez la planta decorativa del alféizar de la ventana o el árbol del aparcamiento desde este punto de vista. Se trata de compañeros de la vida que pueden pasarse sin la abertura de la boca. Para extraer del aire dióxido de carbono y vapor de agua, sus hojas disponen de innumerables pequeñas aberturas. Sin embargo, carecen de una boca central, una boca llena de dientes. No depredan, salvo los pocos

casos de plantas «carnívoras». Cazan como con un cazamariposas los rayos solares, que no oponen a este proceso la más mínima resistencia.

Cabe adelantar ya que existen animales que carecen de boca. Esto sucede en especial en el caso de los parásitos, tanto en los organismos unicelulares, parásitos de organismos pluricelulares, como en los parásitos pluricelulares, por ejemplo gusanos, que se asientan de un modo u otro en el intestino, los músculos o los tejidos de otros organismos pluricelulares. Al igual que las células propias del cuerpo, están envueltos por líquido nutritivo: en este caso no es necesaria una boca especial para tomar la energía. Toda la superficie corporal se convierte así en boca. Al igual que las raíces de las plantas, los parásitos toman también aquello que necesitan a través de sus paredes celulares.

Todos los animales se caracterizan por la depredación. Incluso entre los organismos unicelulares existen diferencias entre animales y vegetales. Deben adquirir de algún modo una estructura orgánica. Las amebas lo consiguen rodeando, acorralando su presa, es decir, al portador de energía orgánico, con su cuerpo cambiante como si se tratase de brazos amistosos, introduciéndola de este modo en su interior (tabla 20, fig. 1). Allí la presa es digerida, se trituran sus tejidos y moléculas y se libera la energía contenida en ellos. Por supuesto no del todo, ya que ésta es extraída de la jaula en la que se encontraba hasta ese momento y encerrada inmediatamente en otra. En el lenguaje científico este proceso se formula de la siguiente manera: se degrada la estructura del alimento y se sintetiza la del propio cuerpo.

Otros organismos unicelulares animales, como por ejemplo la vorticela, han desarrollado dispositivos de captura o una auténtica boca, como el paramecio. Algunos disponen incluso de una boca que avanzan hacia delante y que es capaz de abrirse enormemente, que puede admitir bocados de un tamaño de hasta un tercio del suyo propio. Como por ejemplo *Dileptus anser*, especie que no tiene nombre común en castellano.

Cuando se formaron seres vivos pluricelulares, algunos se especializaron en la obtención de energía solar y otros se dedicaron a una feroz depredación. Ni aquí ni allá es posible establecer unos límites precisos, puesto que en estos ámbitos iniciales de la vida existieron también híbridos que practicaron ambas formas de alimentación. Si había suficiente sol, se alimentaban con sus rayos, si era escaso, eran capaces de alimentarse como animales. El organismo unicelular *Euglena viridis* es un ejemplo actual de esta capacidad, y entre los organismos unicelulares más sencillos existen de igual modo formas capaces de tales adaptaciones. Las dos grandes ramas principales del árbol filogenético de la vida, las plantas y los animales, debieron separarse en varios puntos, pero este desarrollo se inició ya con los organismos unicelulares. Todo esto sucedió hace 3.000-2.500 millones de años.

Sin embargo, con ello no hemos encontrado todavía el primer momento estelar en la evolución de nuestra propia abertura bucal. Los primeros organismos unicelulares que se alimentaron con animales fueron grupos de 4, 8, 16 o algunos miles de células que formaron acúmulos o esferas, aunque no presentaban ningún tipo de boca. *Volvox globator*, que tiene forma de una esfera hueca muy atractiva, puede considerarse como fósil viviente de esa época tan lejana. Se trata de un vegetal. Los pólipos, que pertenecen a los cnidarios, son formas actuales muy primitivas de animales pluricelulares. En principio no son más que un intestino que vive fijo en el fondo de las aguas y dotado de una abertura, que dispone de brazos para capturar sus presas. Este animal no se mueve del lugar ni persigue a la presa que se le escapa, sino que deja que sean las corrientes de agua las que le lleven el alimento. Cada una de las gotas de agua que pasan ante él contiene organismos microscópicos, tanto vegetales como animales, denominados plancton. Los brazos prensiles no tienen más que alargarse y conducir la presa hacia el intestino. Aquí es digerida y aprovechada. En este caso, la boca es simultáneamente el ano. Lo que no puede aprovecharse es expulsado de nuevo a través de esa abertura y la corriente de agua lo arrastra.

El zoólogo considera que los organismos pluricelulares más inferiores que actúan como animales son las esponjas. De hecho, en muchos aspectos son más primitivas y presentan una menor división del trabajo entre sus células que los pólipos y las medusas. Sin embargo, tienen una ventaja sobre ellas: poseen canales que las atraviesan y en los que el plancton contenido en el agua es capturado por un extremo y expulsado por el otro. Todo el mundo conoce el aspecto de una esponja. Está atravesada por innumerables oquedades, pequeñas y grandes. Menos conocido es el hecho de que dichas cavidades sirven para la obtención del alimento. A través de numerosos orificios que se abren al exterior, las células especializadas absorben el agua mediante movimientos de flagelos y con otros la expulsan.

En cierto aspecto, la esponja está por encima de los pólipos y las medusas. Las aberturas para la recepción del alimento y la evacuación de lo que no se necesita no son las mismas en ambos casos. De todos modos, .son tan numerosas en esta maraña de oquedades que no pueden compararse con un intestino. Nosotros tampoco procedemos de las esponjas. Estas alcanzaron, hace aproximadamente 1.600 millones de años, la forma de alimentarse que muestran en la actualidad. Por este motivo no se han transformado esencialmente. La mayoría de ellas forman agujas en sus tejidos, una medida de protección eficaz contra animales móviles a la vez que sirve de esqueleto interno de soporte. Algunas forman grandes cálices y otras tubos; no han pasado de aquí. Sin embargo, han logrado imponerse sobre otros animales más evolucionados, móviles y provistos de boca prensil. Existen todavía en nuestros días (véase tabla 5).

El primer momento estelar en la evolución de la boca humana se produjo algo más tarde, cuando se desarrollaron organismos pluricelulares vermiformes que emergieron del fondo marino y buscaron alimento mediante movimientos propulsores. Este primer momento estelar fue muy curioso, casi macabro. Los pólipos disponían ya de un intestino, que tan sólo tenía una abertura. Sucedía lo mismo con las medusas móviles y con

algunos gusanos primitivos. Es lógico que con un modo de desplazamiento reptante apareciese una segunda abertura. Por el polo anterior se tomaba el alimento, que era digerido en el intestino. A través de un segundo orificio posterior se eliminaba todo aquello que no era aprovechable. Esta disposición se alcanzó por dos caminos opuestos, y también aquí se percibe la absoluta falta de directrices en la evolución global. La primera posibilidad es que la boca siga siéndolo y que aparezca un ano en el otro extremo del intestino. Dicha posibilidad se realizó en casi todos los gusanos de los que se han conservado, hasta la actualidad, descendientes, así como en los moluscos y los artrópodos. La segunda posibilidad es que la primitiva boca se transforme en ano y el orificio que aparece en el otro extremo del intestino se convierta en una boca (tabla 9). Ésta fue la solución adoptada por nuestros antepasados. Lo que hoy es nuestro ano fue en principio nuestra boca. Quien no lo crea puede verificarlo en cualquier diccionario o manual de zoología. Somos deuteróstomos, que transformaron la boca originaria en un ano. El desarrollo embrionario de los vertebrados, incluido el ser humano, muestra en la actualidad este proceso. Igual que las plantas y los animales se dividen en dos grandes ramas, así también los protóstomos, que conservaron la abertura original de su boca hace 1.200-1.000 millones de años, de los deuteróstomos (tabla 5). A partir de la gran rama de los primeros se desarrollaron todos los gasterópodos, los cefalópodos y otros moluscos, además de los artrópodos, es decir, crustáceos, arácnidos, insectos, etc. Por el contrario, a partir de los deuteróstomos surgieron los helmintomorfos y los equinodermos (estrellas de mar, erizos de mar, holoturias), además de la rama, que pronto se escindió, de aquellos antepasados vermiformes, a partir de los cuales aparecieron más tarde los peces y los mamíferos terrestres, incluso el ser humano.

El primer momento estelar de la evolución de la boca humana fue, por tanto, el instante, hace 1.200-1.000 millones de años, en el que la boca original de nuestros primitivos antepasados se transformó en ano. Mientras que numerosos grupos de

gusanos actuales nos muestran cómo continuaron evolucionando los protóstomos, cómo aparecieron por un lado los cuerpos de los moluscos cada vez más diferenciados y de mayor capacidad funcional, y por otro lado, mediante segmentación del cuerpo y formación de innumerables secciones acorazadas, se desarrollaron entonces los crustáceos y, en el mundo aéreo, los arácnidos y los insectos, el camino de la serie de nuestros antepasados dejó tras de sí huellas difusas hasta llegar a los peces. No aparecen en restos fósiles ni en los descendientes actuales de esta parentela tan antigua. Del intervalo temporal de nuestro camino común con los equinodermos han sobrevivido, como descendientes todavía vivos, sólo el pequeño grupo de los enteropneustas, que se adaptó en exceso a una forma de vida excavadora, por lo que la estructura de su cuerpo apenas nos brinda indicios. Algo similar sucede con otros grupos de animales más alejados, en cuyo desarrollo embrionario y estructura corporal algunos especialistas, aunque no todos, creen encontrar indicios de las primeras fases de la evolución de los deuteróstomos. Su evolución se ha producido seguramente en entornos en los que se formaron pocos fósiles y aunque lograron seguir evolucionando en ellos, carecían de la capacidad de hacerlo en otros medios, siendo eliminados en la lucha por la vida.

Incluso después de que los antepasados de los equinodermos se hubiesen escindido definitivamente de los de nuestros antecesores, la cadena evolutiva hacia los peces sigue siendo oscura. El único indicio claro que arroja luz sobre la organización interna que surgió en aquella época es el ya mencionado anfioxo, que se encuentra en todos los mares cálidos, representado por varias especies. Lo mismo que las anémonas de mar, vive anclado en fondos arenosos alimentándose del plancton que pasa por delante suyo, aunque en caso de peligro es capaz de alejarse y cambiar de emplazamiento. De este modo se convirtió en una especie perfectamente adaptada a este medio, conservándose así hasta la actualidad con pocas modificaciones. En la historia de nuestro orificio bucal el anfioxo no nos sirve de mucha ayuda. Su boca, dotada de apófisis móviles, está en

posición asimétrica, habiéndose formado por dilatación de la primera hendidura branquial izquierda. A través de esta abertura captura el alimento que pasa por delante suyo. Que la abertura se encuentre en el centro o a un lado, entre los arcos branquiales, es de importancia relativa para esta forma de vida. El ano tampoco desemboca en el centro, sino más bien hacia la izquierda. En el extremo anterior, sobre el dorso, este curioso animal tiene una fosa en el lado izquierdo que se considera un órgano olfativo primitivo. Algunas especies tienen también glándulas sexuales en un lado. Cuando se lleva la misma vida que un palillo enterrado oblicuamente en la arena, no se precisa una estructura corporal simétrica y bajo ciertas circunstancias ésta puede ser incluso una desventaja. El anfioxo no puede, por lo tanto, informarnos acerca de nuestra abertura bucal. En el caso de los antecesores de los que provenimos, primos también lejanos del anfioxo primitivo, la boca debía estar situada en el centro y su cuerpo era asimétrico. Nadaban merodeando en busca de presas, para lo que se precisa una estructura corporal simétrica. Además, hace falta que la abertura bucal se endurezca, con el fin de poder agarrar mejor. Con ello llegamos al segundo momento estelar de la evolución de nuestra boca.

O, dicho con mayor exactitud, llegamos a un doble momento estelar, de forma semejante a como existen estrellas dobles. Tanto la mandíbula como su articulación han tenido un desarrollo doble. El primero hace 450-420 millones de años y el segundo hace aproximadamente 235 millones de años. El *Diarthrognathus*, un fósil conservado en petrificaciones de un animal desaparecido hace mucho tiempo, nos muestra incluso ambas articulaciones mandibulares juntas. El principio de esta evolución fue relativamente sencillo. Los peces más antiguos, los ostracodermos desaparecidos hace mucho tiempo, que vivieron hace 450-300 millones de años, no estaban dotados en principio de una auténtica mandíbula y aparecieron entonces estructuras cartilaginosas que soportaban la boca por sus bordes superior e inferior. A ambos lados se formó una articulación, llamada mandibular primaria. Los peces cartilaginosos, emparentados con los ostracodermos, nos muestran hoy este

estadio inicial, en especial los tiburones y las rayas. No hicieron nunca una incursión a tierra firme y por consiguiente no desarrollaron una vejiga natatoria. Tanto los tiburones como las rayas tienen que nadar para no hundirse. Sus mandíbulas formadas de sustancia cartilaginosa nos muestran el aspecto que tenían las de nuestros antepasados hace 430 millones de años. Su articulación mandibular era una estructura sólida y eficaz, y si hubiesen existido por aquella época profetas a ninguno de ellos se le habría ocurrido la estrambótica idea de que esta articulación daría lugar a los huesecillos de nuestro oído, es decir, al martillo y el yunque. Si fue un poder director consciente el que impulsó esta evolución, entonces debemos reconocer que estaba dotado de fantasía y de un caprichoso sentido artístico. Al igual que algunos pintores modernos, que no saben qué efectos desencadenan en última instancia sus obras, este creador debería haber jugado también con los resultados de su fuerza creadora.

Todo el mundo conoce la eficacia de la dentadura de los tiburones, si bien existen muchas ideas exageradas a este respecto. No obstante, nadie la pone en duda. Está formada por cartílago, no por hueso, y es eficaz para el uso al que se la destina. Si exceptuamos las ballenas y los delfines, que regresaron al agua desde el medio terrestre, hay que considerar los tiburones como los reyes del mar abierto, y también de las costas. En el caso de los teleósteos que adquirieron la vejiga natatoria en su paso por la tierra firme, se produjo una osificación, como en el caso de los anfibios. Fue suficiente que a las mandíbulas cartilaginosas se fueran superponiendo, pieza por pieza, huesos que poco a poco la sustituyeron y reemplazaron. Esta evolución fue lenta, independientemente de que se produjera en el medio acuático o en el aéreo. En el caso de los vertebrados terrestres culminó con el paso de los reptiles a los mamíferos. Entretanto, no sólo se habían formado una mandíbula superior y otra inferior nuevas sino que, además, a partir de la articulación originaria, apareció otra nueva, con lo que la primera quedó sin ninguna función, involucionando de manera progresiva, aunque al final desempeñó un papel decisivo en la formación de nuestro

oído. Si podemos percibir y gozar los sutiles juegos tonales de una sinfonía bethoveniana, se lo debemos precisamente a la circunstancia de que las mandíbulas cartilaginosas de los antepasados parecidos a tiburones diesen lugar a la mandíbula ósea de los anfibios y los reptiles, y que en el caso de los mamíferos se formase una segunda articulación mandibular. Precisamente a partir de los productos de desecho de una sección superflua de la mandíbula y de una sujeción al cráneo igualmente superflua, emergieron las unidades a las que el amante de la música debe hoy sus exquisitos placeres. Cuando hablemos más tarde del oído y de su aparición, en la que desempeñaron un papel importante también otras curiosas transformaciones, volveremos con más detalle sobre este punto (pág. 210).

El segundo momento estelar, cuyos dos hitos están separados casi por 200 millones de años, condujo, en última instancia, a la aparición de los huesos de la mandíbula que podemos percibir a través de la piel y a la articulación mandibular secundaria, envuelta por músculos, que nos ayuda a morder como un cascanueces. Sin embargo, el acto de morder requiere algo más y esto nos lleva de nuevo al oscuro pasado. El tercer momento estelar en la evolución de nuestra boca, la aparición de los dientes, se produjo inmediatamente después de la consolidación del segundo, la constitución de la mandíbula, por lo que se sitúa en el tiempo entre los dos hitos de este último. Tampoco nuestros dientes aparecieron, como los huesecillos del oído, con su sentido y destino originales. Surgieron a partir de escamas, las escamas redondas de los antepasados de los tiburones, a partir de las cuales se desarrollaron las escamas en forma de placas de los tiburones actuales. En el caso de los antepasados de los tiburones crecieron, hace 430-400 millones de años, en el borde superior e inferior de la boca hacia su interior, se desarrollaron allí y se transformaron en dientes. Si observamos la boca de uno de los tiburones actuales, podemos reconocer lo que sucedió en aquel entonces, ya que en ellos los tan temidos dientes no son más que escamas orgánicas que crecen con mayor longitud en el borde de la boca. Por este motivo están dispuestos en varias hileras sucesivas y pueden regenerarse de manera

continua. Ningún tiburón muere de inanición por caída de los dientes con la edad. Si estudiamos el desarrollo de los dientes en los embriones de los teleósteos, las salamandras, los lagartos, los mamíferos y los seres humanos, podremos reconocer su parentesco con estas escamas.

Algunos dientes tienen formas poco usuales. En el caso del colmillo del elefante o de la lanza del narval, que presenta un incisivo izquierdo no transformado, parece muy poco probable que se trate de escamas orgánicas transformadas. Y sin embargo lo son. Por muy diversa que haya podido ser la evolución de los distintos dientes en los vertebrados, por efecto de la adaptación a las respectivas presas y formas de vida, el desarrollo embrionario muestra claramente en todos los grupos su procedencia. Están dispuestos idénticamente a como aparecen hoy en los tiburones (tabla 3). Están formados por dentina atravesada de canalículos y recubiertos por una capa de esmalte, y tienen en su interior una cavidad recorrida por vasos sanguíneos, la *pulpa*. En las aves, en su lugar aparece el pico, formado por queratina, y en este caso ni siquiera el desarrollo embrionario muestra indicios de dientes. Esto ejemplifica muy bien que el desarrollo embrionario no siempre recapitula el desarrollo filogenético y de que algunas fases intermedias pueden haber desaparecido. De todos modos, los hallazgos de fósiles de aves primitivas demuestran que también sus antepasados poseían dientes, escamas de los tiburones primitivos transformadas (tabla 1).

En el caso de los teleósteos y de todos los anfibios, en diversas partes del interior de su boca aparecen dientes que, además, son sustituidos varias veces. Algunos peces pueden cambiar la dentadura hasta 100 veces y el cocodrilo hasta 20. En los mamíferos, que adquirieron dentaduras más perfeccionadas, esto se redujo a un único cambio de dentición y fue también la causa de que todos ellos se dispusieran en una única hilera. Incisivos, caninos y molares tienen una constitución diferente, dependiendo del tipo de alimentos a masticar. En el caso de los odontocetos queda claro que el desarrollo evolutivo es reversible y que la formación de órganos puede conducir de

nuevo a estadios evolutivos anteriores. Hace 60 millones de años sus antecesores, los ceuglodontes, que vivían en el mar, tenían todavía una dentadura compuesta por diversos tipos de dientes, los molares de varias cúspides y con doble raíz. Los actuales odontocetos han vuelto al tipo de dientes uniforme de los anfibios y reptiles. Mientras que para los restantes mamíferos el número de dientes está estrictamente limitado a un número máximo de piezas, 52 en el caso de los marsupiales, los delfines tienen hasta 250.

Acerca de la aparición de los dientes de la masticación, tan importantes para nosotros, existen varias teorías. Algunos investigadores defienden la hipótesis de que aparecieron a partir de la fusión de varios dientes reptilianos de una sola cúspide, mientras que otros los hacen derivar de los dientes reptilianos tricúspides, a los cuales se añadieron nuevas cúspides. Otros creen más bien en la fusión de generaciones consecutivas de dientes. Tiene un especial interés la involución de nuestros caninos inferiores que hace 30 millones de años, cuando nuestros antepasados comenzaron a escindirse de los póndigos actuales, tenían la forma de terribles colmillos. Por aquel entonces, si no antes, se recurrió al gesto de amenaza consistente en mostrar estas peligrosas armas bajando el labio inferior. Lo mismo sucede con los perros cuando están furiosos. El colmillo descubierto es una señal clara que significa: no te acerques demasiado. En el desarrollo evolutivo subsiguiente, estas armas involucionaron en nuestros antecesores y hoy quedan alineados estéticamente con los restantes dientes. A pesar de ello, el ser humano sigue bajando el labio inferior cuando está muy furioso. La orden localizada en el cerebro original todavía existe y sigue funcionando mientras que el órgano al que iba dirigida, el canino inferior, hace mucho tiempo que ha involucionado. Esto muestra hasta qué punto las órdenes innatas son parte de las unidades estructurales que componen nuestro cuerpo. Un código de instrucciones es asimismo una estructura material, si bien muy pequeña. Se heredan y se construyen igual que los órganos en el sistema del organismo pluricelular. Dentro del marco de la gran comunidad de nuestro cuerpo, son también

estructuras que cumplen una determinada función, son «órganos». Estudiaremos más adelante estructuras todavía más pequeñas. Hay que recordar aquí que las órdenes innecesarias involucionan lo mismo que los órganos innecesarios. De todos modos, bajo ciertas circunstancias siguen funcionando, mientras que los órganos que dependen de ellas hace mucho tiempo que han involucionado.

Antes de adentrarnos en el cuarto momento estelar de la aparición de la boca humana, la aparición de la lengua, no queremos dejar a un lado toda esa serie de antecesores que no pertenecen a nuestra parentela y que dieron lugar a estructuras corporales completamente distintas. ¿Aparecieron dientes en los erizos de mar? ¿Qué les sucedió a este respecto a nuestros parientes próximos, los moluscos y los artrópodos?

A pesar de la simplicidad del aspecto de un erizo de mar, tan poco animal por no poseer ojos, y a pesar de lo molesto y superfluo que nos resulta cuando lo pisamos en el mar, en lo que respecta a sus dientes sí que tiene importancia. No existe seguramente ninguna otra herramienta para comer que pueda compararse, en cuanto a la perfección técnica de sus componentes y su coordinación, a la suya, a la que se ha dado el nombre de «linterna de Aristóteles». Cinco fuertes dientes con otras 15 piezas esqueléticas móviles se transformaron en una maquinaria con la que el animal roe la superficie de las rocas, recubiertas de algas hasta una profundidad de varios milímetros. Cuando vemos erizos de mar en la zona litoral dentro de hondonadas en forma de cuencos, sabemos que ellos mismos las han horadado con su eficaz «linterna».

En el caso de los crustáceos y de los insectos, el cuerpo articulado está recubierto de un caparazón y dotado de varios pares de apéndices, los anteriores de los cuales se han transformado en pinzas y otras piezas bucales. Algunas partes del caparazón externo se han convertido en herramientas prensiles y trituradoras muy complejas y eficaces.

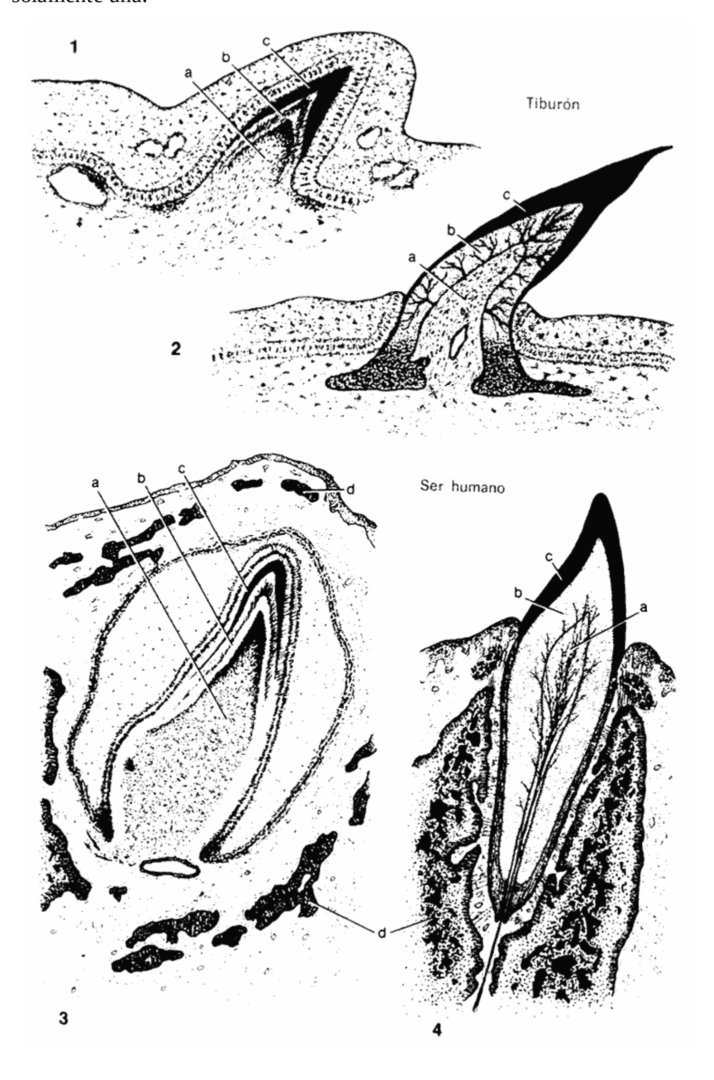
TABLA 3. El curioso origen de nuestros dientes

Figuras: **1** y **2** desarrollo de las escamas placoides en los tiburones, **3** y 4 desarrollo de un incisivo en el hombre, a = pulpa, b = dentina, c = capa de esmalte, d = hueso maxilar.

Dentro de nuestra línea de antecesores, los primeros dientes aparecieron hace 430-400 millones de años. La totalidad de los vertebrados terrestres y casi todos los peces actuales proceden de tiburones primitivos, cuyo cuerpo estaba cubierto de numerosas escamas óseas (escamas redondas). En el borde de la boca alcanzaban mayor longitud y, en el curso de un cambio de función, se convirtieron en dientes. Las especies actuales de tiburones, cuyas escamas poco desarrolladas se llaman placoides, nos muestran con toda claridad este proceso. En sus embriones, las escamas de la boca son más largas que en el resto del cuerpo y se convierten en dientes. Igual que sucede con las escamas, los dientes crecen en hileras sucesivas y así, cuando se desgastan son sustituidos de manera continua por otros nuevos. La figura 1 muestra un corte de cómo se dispone la escama placoide. Los tejidos de la hipodermis se arquean y forman la pulpa (a), cuyo estrato celular externo secreta la dentina ósea (b). Las células próximas de la epidermis recubren la escama en formación con una sustancia cristalina aunque dura llamada esmalte (c). La figura 2 muestra la escama placoide completa que sobresale de la piel. Si se transforma en un diente, su tamaño aumenta de 10 a 20 veces.

Una de las numerosas pruebas a favor de que el hombre y la cadena de sus antecesores (mamíferos, reptiles y anfibios) proceden de tiburones primitivos, es el hecho de que en todos ellos los dientes se forman de igual manera. En la adaptación a la vida sobre tierra firme las escamas corporales experimentaron una regresión mientras que, por el contrario, los dientes surgidos de escamas de mayor tamaño continuaron formándose del modo original. La figura 3 muestra el esbozo y la disposición de un incisivo en el embrión humano. También aquí es la hipodermis la que forma la pulpa (a) y el estrato celular exterior el que secreta la sustancia ósea dentina (b). Y también aquí son los estratos inferiores de los tejidos procedentes de la epidermis los que recubren el diente con el esmalte cristalino (c). La inclusión en el maxilar (d), que sirve de apoyo a los dientes, es una adquisición posterior en la serie de los mamíferos que no se presenta en los tiburones. La figura 4 muestra un incisivo humano desarrollado cuya capa de dentina, lo mismo que en el caso de la escama de los tiburones, está recorrida por pequeños canales con vasos sanguíneos y nervios. Apunta en un sentido contrario al de las escamas, pero también esto coincide con la formación de los dientes de los tiburones actuales. En ellos las escamas corporales se dirigen hacia atrás, mientras que en el borde de la boca se produce un cambio de orientación, de modo que se dirigen en sentido contrario, o sea, hacia el exterior de la boca. La capacidad de la

renovación constante de los dientes por crecimiento de nuevos esbozos de escamas, experimentó una gradual reducción en los vertebrados terrestres. Los cocodrilos pueden cambiar su dentadura hasta 20 veces, el ser humano solamente una.



Cuando observamos en una película un primer plano de una avispa comiendo, creemos encontrarnos ante un robot extraterrestre que despedaza a su víctima con ayuda de piezas metálicas muy afiladas, introduciéndola en su voraz abertura bucal. La boca blanda y desprovista de coraza de los gasterópodos tiene un aspecto mucho más inofensivo, aunque también estos animales han desarrollado un instrumento muy eficaz para desmenuzar e ingerir el alimento: el rallador de su lengua llamado *rádula*. Está dotada de dientecillos afilados y se mueve hacia delante y hacia atrás como una lima, y no sólo puede arrancar y desmenuzar las plantas sino también perforar las conchas de caracoles y moluscos. Cuando encontramos, en la orilla del mar, conchas de moluscos con un orificio redondo limpio y lo observamos con detalle, nos damos cuenta de que ha sido realizado con un instrumento parecido a una lima. En el caso de los evolucionados cefalópodos, la boca está dotada de un pico córneo, aunque sus herramientas bucales características son los tentáculos. De este modo, la evolución vuelve a menudo, en niveles evolutivos superiores, a principios técnicos idénticos. Muy alejados en la línea filogenética de los moluscos y en la nuestra, encontramos los pólipos constituidos por unos pocos tipos de células. Sus herramientas bucales son también tentáculos. En el caso de los cefalópodos, éstos alcanzan longitudes de hasta 20 metros y están dotados de ventosas, a cuyo lado las mandíbulas y dientes mejor formados parecen pequeños.

Sin embargo, volvamos a nuestra boca. El cuarto momento estelar de su evolución se produjo hace 400-370 millones de años, cuando en nuestros antepasados peces se formó un cojín más o menos prominente en la base de la boca. Su función era exclusivamente, como nos lo muestran hoy los peces vivientes, la de desplazar el alimento ingerido y empujarlo hacia atrás. La lengua se fue independizando poco a poco en el curso de la conquista de la tierra firme. Creció, la musculatura y los tejidos conjuntivos formaron una protuberancia móvil y se transformó en un órgano auxiliar que podía emplearse para muchas cosas. En el caso de la rana se encuentra plegada hacia atrás en la ca-

vidad bucal. Cuando pasa un insecto por sus cercanías, la despliega. En el curso de esta operación roza una glándula palatina que segrega sobre ella una sustancia pegajosa, la proyecta hacia delante y después la introduce de nuevo en la boca, con la presa fija en ella. En el caso del pájaro carpintero alcanza una longitud cinco veces superior a la del pico y en su parte anterior es afilada, a modo de estilete: con ella el ave ensarta larvas de insectos que hay escondidas en la madera. En la larga serie de nuestros antepasados, la lengua se utilizó desde épocas muy tempranas para recoger agua, lamer jugos y más tarde para el aseo personal. En el caso de los ofidios se transformó en órgano auxiliar para la percepción de los olores: mediante los movimientos de la lengua se llevan los estímulos olfativos hasta las sensibles fosas sensoriales situadas en el techo del paladar. En los rumiantes se transformó en un órgano prensil. Los bóvidos rodean con ella las matas de hierba arrancándolas. En los carnívoros felinos se convirtió en una herramienta que permite arrancar limpiamente los trozos de carne de los huesos.

Los reptiles tragan enteros los bocados. Hasta que no aparecieron los mamíferos, dotados de dientes especializados, el alimento no fue desmenuzado en la boca. Lo importante en este caso es el paladar duro, contra el que la lengua pueda presionar, posibilitando con ello una mejor elaboración de los alimentos. La lengua muy móvil de los mamíferos, carnosa y musculosa, es una estructura nueva que superó a la heredada de los reptiles. Está provista de abundantes glándulas mucosas y papilas gustativas (tabla 13). La distinción que hacemos entre dulce, salado, agrio y amargo la compartimos en buena medida con los antecesores que nos precedieron. El sabor dulce nos indica la presencia de azúcar, llena de energía. La sal es necesaria para todos los seres vivos, incluso las plantas. Muchos venenos son amargos, con lo cual la percepción de los sabores se convierte así en una señal de aviso. En el ser humano, que mediante una preparación especial y el aditamento de especias a los alimentos logró una cultura gastronómica, es importante que, a pesar de la prolongación del paladar hacia atrás, gracias a lo cual las

vías respiratoria y de ingestión de los alimentos quedan separadas, exista todavía una conexión entre ellas. Una gran parte de nuestra percepción de los sabores descansa en su percepción olfativa. Por esta razón, cuando estamos resfriados las cosas no nos saben tan bien como de costumbre, y cuando un ser humano pierde el sentido del olfato por alguna lesión cerebral, es incapaz de distinguir una cebolla cocida de una manzana salada. La punta de la lengua se convirtió en nuestro caso en el órgano táctil más sensible. Mientras que los puntos de la piel sensibles a la presión están alejados entre sí 4 mm en los labios y 2 mm en la punta de los dedos, en el ápice de la lengua están separados entre sí 1 mm.

Los labios tienen una historia distinta. Nuestros antepasados reptiles disponían ya de estructuras en forma de labio, aunque sin función táctil, musculatura especial o color llamativo. El cambio se inició cuando, hace 230-200 millones de años, nuestros antepasados dejaron de poner huevos y llevaban en el interior de su cuerpo las crías, que tras el nacimiento mamaban. Este fue el importante paso en la evolución de los reptiles a los mamíferos y, en consecuencia, también a los animales de sangre caliente. La función de la lactancia exigía una transformación análoga de la abertura bucal. En los reptiles se extendía de una oreja a otra, y ahora se reducía, convirtiéndose los labios en músculos redondos y las mejillas en órganos que reforzaban la succión. El color rojo de la piel fina y adaptable lo atribuyó el investigador Desmond Morris a una hipótesis más bien grotesca que vamos a mencionar brevemente. Partía del hecho de que muchas hembras de primates tranquilizaban a los machos malhumorados ofreciéndoles la parte posterior de su cuerpo, con la abertura genital femenina. Los labios vulvares asumían así su carácter simbólico, por lo que adquirieron una coloración llamativa. En el caso de algunos de los primates que pasan mucho tiempo sentados, como sucede con los geladas, se ha formado sobre el pecho una zona desnuda que muestra una reproducción bastante fiel de los labios vulvares. Se supuso entonces que la señal tranquilizadora se había desplazado en este caso

hacia la parte anterior. Debido a que nuestras relaciones sexuales se realizan básicamente por delante, Morris concibió la idea de que en los seres humanos las señales de los desencadenantes sexuales se habrían trasladado desde atrás hacia delante. El pecho femenino prominente sería una reproducción, desplazada, de las almohadillas genitales y los labios rojos no serían otra cosa que una copia, desplazada hacia delante y girada 90 grados, de los labios vulvares. Si bien la evolución ha recorrido a menudo caminos curiosos, en este caso se ha dejado volar la fantasía en exceso.

El etnólogo Eibl-Eibesfeldt atribuye la aparición del beso humano a la alimentación boca a boca entre la madre y el hijo. De hecho, pudo filmar procesos de este tipo entre pueblos primitivos: la madre mastica el alimento y lo introduce con sus labios en la boca del bebé. Por otro lado, cuando besamos no expulsamos aire sino que hacemos un movimiento de succión. La lactancia en el pecho materno es el primer contacto íntimo con otro ser humano, un comportamiento innato. Otra explicación plausible sería que esto se convirtiese en una señal de afecto: lo que amamos lo besamos como hacíamos de niños con el pecho materno. A esto hay que añadir que los labios posibilitan contactos muy íntimos, igual que los dedos y la lengua, que se emplean de modo adicional durante las demostraciones amorosas y el contacto sexual.

Ésta es la evolución posterior de un orificio que, al principio, en nada indicaba que se transformaría en este órgano tan versátil y característico del ser humano. Debemos señalar, además, que la boca, tan pronto como estuvo armada, se pudo emplear como medio defensivo. Para ello sólo tuvieron que formarse en el centro de control del sistema nervioso otras órdenes, algo que se produjo en diversos grupos animales. Entre los mamíferos se desarrolló también un código de instrucciones que permitió a la madre romper durante el nacimiento el cordón umbilical que la une a su hijo. Este proceso es completamente distinto al de la ingestión de los alimentos o defensa, y requiere por consiguiente una valoración del entorno distinta y una diferente coordinación de los músculos. Al igual que en el caso

de la mano, la colaboración con el cerebro rector condujo a otros resultados. La capacidad para el lenguaje, tan sumamente importante para el proceso de nuestra conversión en seres humanos, la trataremos en el marco del desarrollo del pulmón (capítulo 11). Este fuelle es en este caso decisivo; los labios, la lengua y el paladar realizan tan sólo tareas auxiliares. La barba que en el hombre circunda la boca se transformó en una característica sexual. En el resto del cuerpo, el pelo involucionó durante el paso del primate depredador que cazaba en la estepa, aunque no sucedió lo mismo en la cabeza, donde el pelo brinda al sensible cerebro protección contra el calor y el frío, ni alrededor de la boca, donde delata simbólicamente la presencia de un hombre.

IV. NUESTROS OJOS

Los tres primeros órganos cuyos momentos estelares hemos buscado nos han conducido por un camino intrincado. El punto de partida de nuestra mano fue un pliegue cutáneo de antepasados que eran algo más que gusanos sin ser todavía peces. A partir de una aleta aparecieron los dedos, a los que la vida arborícola de los primates transformó en pinza. En el caso del corazón hemos visto que se trata más bien de un simple servidor de otro órgano, al que en el transcurso de su evolución se le han encomendado cada vez más misiones. Al estudiar nuestra boca, vimos que cambió su ubicación por la del primitivo ano, cuya función pasó a desempeñar la boca originaria. Al igual que la circulación sanguínea y la mano en el último estadio de su evolución, este orificio fue encargándose progresivamente de un número mayor de funciones. La herramienta para la toma del alimento se transformó también en instrumento de defensa, del intercambio gaseoso, de la relación amorosa y de la transmisión de información. Nos vamos a ocupar a continuación de un órgano que se desarrolló linealmente hacia un objetivo, como una flor de la que ya se sabe el aspecto que tendrá al final o una catedral cuya última torrecilla esté planificada mucho antes de iniciarse las obras. Por supuesto, nuestros ojos también se encargaron finalmente de realizar otras tareas, si bien sólo de modo secundario y sin darles importancia. El desarrollo final fue una marcha segura, durante la cual no se miró a izquierda ni a derecha sino que se escaló, a la perfección, una cumbre.

¿Quién dio aquí la orden? ¿Quién estableció la dirección de marcha? ¿Hemos topado por último con el arquitecto invisible que hizo de los sinsentidos cosas con sentido, que le dio al desarrollo de la vida su dirección, al que debemos estar agradecidos porque nos deseaba?

No, también aquí se produce un desengaño. También aquí hubo diversas circunstancias fortuitas, sólo que con una diferencia, que en el caso de la vista sólo dos caminos evolutivos son posibles. La función es la que rige el proceso. Los animales que se mueven en el espacio tienen que orientarse en él. Los rayos de luz se ofrecen como ayuda para ello. Sin embargo, para facilitarles dicha ayuda precisan determinados dispositivos. Su estructura viene condicionada en cierto modo por las propiedades de la luz, o mejor aún, eliminemos la expresión «en cierto modo». De hecho es cierto que las propiedades de la luz determinan unívocamente la estructura que deben tener los ojos y cómo debe potenciarse su rendimiento.

¿Fue el primer momento estelar del desarrollo de nuestros ojos aquel en el que algunos de nuestros antecesores desarrollaron la capacidad de percibir la luz? En modo alguno. La luz es pura energía y tiene, por consiguiente, sus efectos. La capacidad de reaccionar ante la luz no fue un requisito previo. Desde la aparición de la vida, hace aproximadamente 4.000 millones de años, los grupos de moléculas que lograron aumentar sus capacidades y reproducirse, reaccionaron ante la luz. Esta capacidad resultó ser en unos casos perturbadora pero en otros, como más tarde en las plantas, se convirtió en fuente de energía.

Para muchos organismos unicelulares marinos, la luz representa una amenaza seria. Si es excesivamente intensa, destruye su estructura sensible y detiene las ruedecillas de su vida. Éste es el motivo por el que gran parte de los pequeños organismos llamados plancton se hunden durante el día a grandes profundidades y vuelven a la superficie cuando comienza a ponerse el sol. Éste es también el motivo por el cual los pólipos coralinos, que se alimentan precisamente del plancton, esconden durante el día sus tentáculos y cierran sus cálices. Viven a una profundidad comprendida entre los 0 y los 40 metros y el plancton se hunde hasta más allá de 100 metros de profundidad. Por este motivo, les resulta más rentable extender sus tentáculos en el agua sólo durante la noche, cuando este ejército fotófobo

vuelve a ascender, y atrapar aquello que pasa por delante de ellos.

Lo bueno si breve dos veces bueno: el arte de percibir la luz no tuvo que ser aprendido. Lo quiera o no, el protoplasma de la célula, el complicado sistema de ruedecillas que hay dentro de estos pequeños organismos vivos reacciona ante la irradiación de la luz. Por consiguiente, el primer paso es protegerse de ella. Lo segundo es aprovechar la energía contenida en los rayos de luz, proceso en el que se especializaron hace 3.000-2.500 millones de años las plantas, alejadas ya de nosotros en el árbol filogenético de la vida. El tercer problema, del que trataremos, es el de lograr que la luz sea útil para la orientación. A este respecto, como ya se ha mencionado, existen prácticamente sólo dos caminos, cada uno determinado en su dirección.

Para que la luz sirva en la propia orientación, es necesario en primer término reflejar los rayos que inciden en una sola dirección. Si una célula resulta excitada por la luz, no sabe por naturaleza de qué dirección proviene. Lo único que percibe es la luz que la excita. Solución estructural: la formación de cuerpos opacos que pueden situarse, a modo de cálices o cúpulas, alrededor de los segmentos fotosensibles. Dichos cuerpos están formados por pigmentos y por lo general son rojos u oscuros. Sólo cuando los rayos de luz, que se desplazan exactamente en línea recta, penetran en el interior del cáliz a través de su abertura, se percibe la luz. Si proceden de otra dirección, el pigmento los rechaza. Todos los organismos unicelulares móviles, pero también otros como las medusas, no deben hundirse en las profundidades abisales ya que muchos de ellos emplean la luz como ayuda para la orientación. Forman órganos fotosensibles en forma de cúpula que encontramos también en otros animales de organización superior.

¿Cómo puede mejorarse la orientación mediante rayos luminosos? El cáliz permite una visión direccional, pero ¿qué más? En el caso de los organismos pluricelulares simples observamos cómo esos cálices aumentan su eficacia, especializándose una célula en la percepción de la luz y otra en la for-

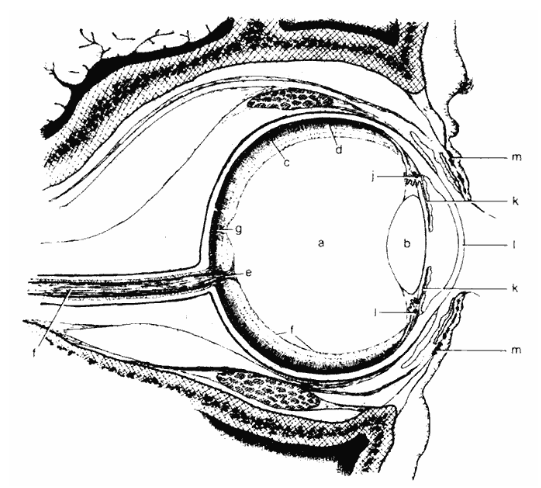
mación de la cúpula pigmentada. Aparecen así cálices mayores: en su interior las células sensoriales, y rodeándolas las que las protegen de la luz. Dado que en ellos no penetra demasiada luz, sobre el orificio de entrada se forma un cuerpo lenticular que concentra los rayos y los canaliza. O bien, y con ello alcanzamos el punto decisivo en el que ambos caminos se separan, aparecen innumerables cálices pequeños unidos, formando una protuberancia en forma de semiesfera. Según de dónde provenga la luz, excita a uno o a otro. De este modo, el animal obtiene una imagen primitiva de su entorno. En el centro es clara, hacia la derecha algo menos luminosa y hacia la izquierda completamente oscura. Cuanto mayor sea el número de cálices que se unan para constituir la semiesfera, tantos más mensajes independientes se obtienen. De este sencillo modo aparecieron los ojos compuestos de los crustáceos y de los insectos. Los cálices se transformaron en largas cuñas que reciben la luz en su extremo exterior, generalmente reforzado mediante pequeñas lentes, y están dotadas en su extremo inferior de células fotosensibles. Entre las diversas cuñas se extiende una capa de pigmento que aísla unas de otras. Por regla general, en una cuña como ésta, denominada *omatidio,* 14 células se reparten el trabajo. Dos constituyen el cristalino, cuatro el cono cristalino que es transparente y las ocho restantes se encuentran en el extremo inferior y perciben los rayos luminosos descendentes. Por naturaleza, cada uno de estos conos transmite tan sólo un mensaje. De todos modos, el ojo de una hormiga tiene entre 200 y 1.200 conos de este tipo, el del abejorro 4.000, el de las grandes libélulas 10.000 y el de la mariposa de la muerte incluso hasta 12.400. Se forman asimismo pequeños ojos simples, en el caso de la abeja tres situados en el centro de la cabeza y en el de algunos ciempiés hasta 40 a ambos lados. Es evidente que la información proporcionada por este gran número de ojos y elaborada por el sistema nervioso, ofrece al animal una representación espacial bastante precisa del entorno. Si se aproxima un cuerpo a estos ojos compuestos, penetra en el área de percepción compuesta de un número creciente de conos que perciben su aproximación.

TABLA 4. Del taller del «constructor de la vida»

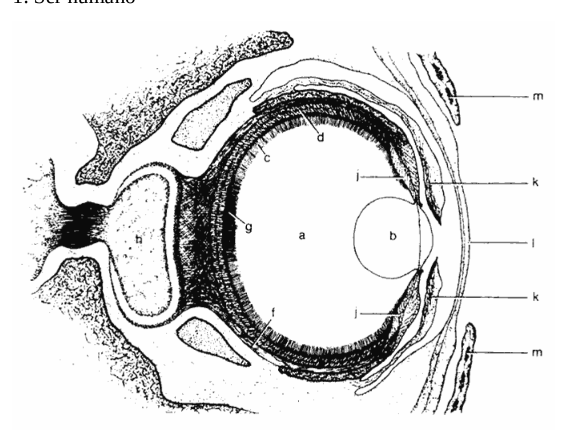
Figuras: **1** corte a través del ojo humano, **2** corte a través del ojo de un calamar, a = cuerpo vítreo, b = cristalino, c = retina, d = capa pigmentaria, e = salida del nervio óptico y de los vasos sanguíneos *(punto ciego),* f = nervios ópticos y vasos sanguíneos, g = zona de mayor agudeza visual, j = ligamentos suspensores, k = iris, l = córnea, m = párpado.

Los órganos con una estructura análoga indican, por lo general, un parentesco filogenético (tablas 1, 2, 3). Sin embargo, hay excepciones (convergencias) que informan acerca del auténtico «constructor» de los seres vivientes y de sus órganos. Su nombre es la *necesidad*. La función necesaria dicta el modo como deben crearse las estructuras con el fin de poder llevarlas a cabo. Un pulmón, un riñón, unas tijeras o un automóvil tienen fijada su estructura por la tarea que han de realizar. Cualquiera que sea el modo de aparición (por azar, inteligencia o acción divina), deben ser creados de tal manera que satisfagan la función requerida.
El ser humano y el calamar (un cefalópodo) proceden de dos líneas filogenéticas que se separaron hace 1.000 millones de años (tabla 5): los *protóstomos* y los *deuteróstomos*. La evolución de sus órganos continuó de modo totalmente independiente pero desembocó en una estructura casi idéntica: por necesidad. La tarea de reconocer los detalles del entorno mediante los rayos de luz establece cómo debe configurarse una combinación celular adecuada para ello. Si en este sentido predeterminado se producen mejoras a través de modificaciones hereditarias (pág. 50), los animales que mejor ven se imponen a los otros. Así, por necesidad, se produce al azar un perfeccionamiento de la función dando lugar a estructuras más diferenciadas, a un orden superior y una mayor idoneidad. Con el fin de obtener una imagen a través de rayos luminosos, una «cámara» necesita tener una abertura en un lado y una capa fotosensible en el interior de la pared contraria. Sobre ésta aparece entonces una imagen invertida del entorno, que puede ser percibida por células sensoriales. Una diferencia esencial es que en el ojo del calamar la capa fotosensible surgió a partir de células del ectodermo, que envían sus mensajes al cuerpo y son alimentadas mediante vasos sanguíneos. En el caso del ser humano la capa fotosensible procede de una evaginación de las células cerebrales más internas, lo cual tiene como consecuencia que los nervios y los vasos sanguíneos llegan hasta ella en sentido inverso. Por consiguiente, deben penetrar en la cámara (e, f) y distribuirse por toda la capa, lo cual tiene varias desventajas (pág. 52). Si el constructor no fueran alteraciones hereditarias aleatorias sino una voluntad consciente, habría que llegar a la conclusión que ésta prefirió al calamar. Sin embargo, en lo que respecta al cristalino sucede lo contrario. En los calamares se origina a partir de dos formaciones celulares separadas, mientras que en el hombre, de manera mucho más elegante, de una sola. Por lo demás, ambos órganos de la visión llegaron

a una zona de mayor capacidad de resolución (g), a la capacidad de enfoque sobre objetos próximos o lejanos y a muchas otras cosas. Por necesidad (págs. 53, 56-59).



1. Ser humano



2. Calamar

Este es, pues, uno de los caminos que conducen al ojo compuesto. Sin embargo, existe otro, el que recorrieron los antepasados de los moluscos, e independientemente de ellos, nuestros

propios antecesores. Para ello hay que tener en cuenta que estas dos grandes ramas del árbol de la vida se separaron hace aproximadamente 1.000 millones de años, mucho antes de la aparición de los primeros ojos (tabla 5). De todas formas, la evolución del ojo de los moluscos siguió el mismo esquema que la del ojo de los vertebrados. Sí, al final alcanzaron, por así decirlo, la misma cumbre. Como veremos, el ojo muy evolucionado de estos moluscos es idéntico al de los vertebrados en cuanto a sus elementos estructurales esenciales (tabla 4).

Tanto en los moluscos primitivos como en nuestros antepasados, se desarrolló un cáliz recubierto de innumerables células sensoriales. Este fue el primer momento estelar en el desarrollo del ojo humano y fue asimismo el primer momento estelar en el desarrollo del ojo de los cefalópodos. Estas dos formaciones se produjeron hace 800-700 millones de años. Un cáliz como éste no sólo puede percibir la dirección de la luz sino también los movimientos. Si pasa por delante suyo un cuerpo nadando (ya que todavía nos encontramos en el agua), primero se oscurece un lado de la fosa y después el otro. El siguiente paso evolutivo es seguramente el más curioso e instructivo que encontramos en toda la evolución de nuestros órganos. En ningún otro lugar se nos aparece con tanta claridad cómo circunstancias fortuitas pueden traer consigo resultados muy eficaces, cómo mediante un cambio carente de objetivo puede aparecer una nueva facultad.

Recuérdese que las variaciones en el camino evolutivo de las plantas y los animales sólo son posibles mediante cambios en el material genético. Sobre dicho material, llamado *genoma*, hablaremos con mayor detalle más adelante. Posibilita durante el proceso de la reproducción la aparición de nuevos individuos. Si cambia el material, entonces los individuos formados a partir de él tienen un aspecto algo diferente. Dicha variación puede resultar favorable en la lucha con el medio y con los diversos competidores y entonces el nuevo individuo progresa y se reproduce, y con él el material genético alterado. Sin embargo, con mayor frecuencia estos cambios del material genético conducen a descendientes menos capacitados y que, por lo

taño, se quedan en el camino y no se reproducen. De este modo, la selección de los mejor dotados se produce en cada caso de manera automática. Los cambios favorables se conservan y se transmiten, mientras que los desfavorables no lo hacen. El modo en que se produce la variación tiene en este caso una importancia secundaria. Si es favorable es provechosa. Si no lo es, resulta inútil. Entonces esta ramita del árbol de la vida se extingue donde comenzó.

Tanto en el caso de los antepasados de los actuales moluscos como en el de los nuestros, mediante cambios genéticos se llegó a una estructura diferente en las diversas fosas orbitarias. Algunas tienen aberturas grandes, otras estrechas. Y de pronto el cáliz se transformó en un órgano que reproduce la imagen del entorno. Es la misma sorpresa que experimentó el inventor del primer ojo artificial, la cámara oscura, que no sabemos quién fue. Este instrumento se conocía ya en la antigüedad. Si a través de un pequeño agujero practicado en la pared de una caja negra penetra luz, en su parte posterior aparece una imagen invertida de la escena que hay delante suyo. Este fue el punto de partida para el desarrollo de la cámara fotográfica que los hermanos Niepce inventaron en 1793 y que, en 1840, adquirió funcionalidad con el desarrollo de las copias en papel. La desventaja de este sistema es que a través del estrecho orificio sólo pueden pasar unos pocos rayos de luz, motivo por el cual la imagen del mundo exterior obtenida es muy débil. Si se aumenta el tamaño del orificio, la imagen se vuelve más luminosa pero pierde en nitidez. Los inventores de la cámara fotográfica también se enfrentaron a este problema, el mismo que tuvo que solucionarse en el camino evolutivo hacia los ojos provistos de una abertura. Dado que las células fotosensibles son muy sensibles, el ojo con abertura más simple dio buenos resultados. Así podemos observarlo hoy en los poliquetos vivientes que adquirieron ojos de este tipo, independientemente de los moluscos y los vertebrados. Esto nos lo muestra con especial claridad un fósil viviente perteneciente a la línea evolutiva de los cefalópodos, el nautilo *(Nautilus)*, que no ha variado desde hace más de 200 millones de años.

Es decir, sólo un orificio estrecho proporciona una imagen nítida que, sin embargo, es débil. La solución es una lente convergente dispuesta delante de este orificio. Esto no constituyó un problema especial para el desarrollo de los cefalópodos y vertebrados ni tampoco en el de la cámara fotográfica. En cuanto a esta última, desde el siglo XIII existían ya lentes de cristal para lupas y gafas. También para los cálices ópticos y los ojos en forma de fosa de muchos animales habían aparecido tempranamente estructuras lenticulares. Dichas lentes se forman ante la abertura visual, si bien de modos completamente distintos en el caso de los cefalópodos y de la serie de los vertebrados (tabla 4). En último término, surgió a partir de las células del ectodermo del embrión que forman una especie de vesícula. En el caso de los cefalópodos se crea así sólo una tercera parte de la lente, el resto lo hace a partir de la pared interna de la vesícula óptica. En la práctica, esto viene a significar que en el caso de los cefalópodos una doble membrana atraviesa el cuerpo del cristalino, lo que estructuralmente es una solución peor. Por el contrario, el fondo del ojo de los cefalópodos tiene una estructura más perfecta. En él se encuentran las células fotosensibles sin solución de continuidad unas junto a otras, con la sección fotosensible orientada hacia fuera, mientras que en el extremo inferior se encuentran los vasos sanguíneos que lo alimentan y los nervios que salen de él. Por el contrario, en nuestro ojo, y de igual modo en el resto de los vertebrados, observamos defectos de construcción. Las células fotosensibles están aquí orientadas en una dirección errónea: la parte fotosensible está dirigida hacia atrás de tal modo que los rayos de luz deben atravesar el cuerpo celular para alcanzarla. Y esto no es todo. También la estructuración de los vasos sanguíneos y los nervios es defectuosa. Atraviesan en un punto del fondo del ojo las hileras de células visuales y allí se ramifican (tabla 4, fig. 1, e, f). Primera desventaja: en este punto de paso no vemos nada, es la llamada mancha ciega. Segundo: con ello los rayos luminosos no sólo tienen que atravesar las células sino también la red de nervios y de vasos sanguíneos que las recorren. Si una voluntad consciente dirigió la evolución, con la idea de lograr

en el ser humano la cumbre, debe de haberse mostrado indecisa durante algún tiempo, ya que en este aspecto de la construcción dio una clara ventaja a los cefalópodos. Insistamos: el fondo de su ojo tiene una estructura correcta mientras que el nuestro está lleno de fallos. ¿Por qué todo esto? El estudio del desarrollo embrionario nos da la respuesta. En el caso de los cefalópodos, el fondo del ojo surge a partir de células del ectodermo en evaginación, que se especializan en la percepción de la luz, es decir, están en posición normal. En el caso del ojo de los vertebrados, su fondo, la retina, surge a partir de una evaginación en forma de cúpula del diencéfalo, por lo que las células sensoriales están orientadas al revés y son alimentadas desde el lado impropio. Hay que tener especialmente en cuenta que, tanto en el caso del cristalino como en el de la retina fotosensible, se produce la misma función por dos caminos distintos. En ambos casos las soluciones que resultan mejores son también distintas. Lo que importa en último término son los resultados y tanto en un caso como en el otro, se obtiene el resultado deseado. También en la cámara fotográfica se precisa una lente y un fondo fotosensible, que adopta aquí la forma de una placa intercambiable o una película. Con todo no es el proceso de obtención el responsable último de la estructura aparecida sino la función, ya que la tarea a cumplir determina cómo debe ser la estructura. Por lo tanto, que esa estructura aparezca como consecuencia de alteraciones casuales o como resultado de una voluntad planificadora, resulta indiferente. Éste es un punto muy importante que permite comprender cómo las soluciones más idóneas son fruto de casualidades. La función que debe cumplirse determina además la manera en que debe estar construido el órgano que debe desempeñarla. Si se trata de avanzar en el agua, la aleta caudal debe formar una placa y el cuerpo ha de ser lo más hidrodinámico posible. Si de lo que se trata es de orientarse con ayuda de la luz, entonces la solución adecuada es una cámara dotada de un orificio y una lente, cuya pared posterior sea sensible a la luz. Toda cámara es al mismo tiempo un ojo de reserva que fija la percepción sensorial, es decir, almacena mejor los recuerdos. Aparece de un modo distinto y

está hecha de un material diferente, pero su estructura básica debe ser la misma.

En efecto, la coincidencia va mucho más allá. El método de obtención de una imagen del entorno mediante un ojo cameral dotado de una lente origina varios problemas que condicionan, por su parte, el posterior camino evolutivo.

El primero de ellos es el del enfoque. Toda lente concentra la luz de manera muy determinada, por lo que sólo puede lograrse una imagen nítida a una distancia concreta por detrás suyo. Si se quiere reproducir con nitidez un objeto que se encuentra más cerca, hay que alejar el cristalino del fondo del ojo, y para la creación de la imagen de un objeto lejano debe acercarse a él. En el caso de la cámara fotográfica esto se consigue mediante una rosca que desplaza la lente hacia delante o hacia atrás, en el caso de los peces se logra el mismo efecto por medio de la musculatura. En posición normal, el pez ve una imagen nítida de su zona más próxima; si el agua es transparente y si el pez necesita ver algo lejano, los músculos desplazan el cristalino. Debido a que se trata de sólo un músculo, el pez desplaza el cristalino hacia fuera con respecto a la cabeza. En los cefalópodos hay dos músculos opuestos, de modo que la técnica resulta algo más perfecta.

Con el paso a la vida en tierra firme la situación cambió. Mientras que en el agua la distancia de visión corta y con ello el ajuste próximo son importantes, el ojo fuera de ella puede ver a una distancia de varios cientos de metros e incluso de varios kilómetros. Con ello se pueden localizar, a distancias mucho mayores, los enemigos y las presas. Cuando nuestros antepasados los peces conquistaron la tierra firme y se transformaron en anfibios, se produjeron cambios en su estructura que condujeron a nuevas adaptaciones. En todos los anfibios actuales vemos que el ojo está adaptado a la visión lejana y que cuando necesitan ver objetos próximos, es comprimido contra el fondo por unos músculos. Se trata de esos dos músculos opuestos ya mencionados, de tal modo que en este punto, hace 350-330 millones de años, se volvió a recuperar la estructura

del ojo de los cefalópodos, que es algo más perfecta. No se detuvieron aquí los hechos, ya que existe una solución más elegante para regular el enfoque, la acomodación. Esta se consigue modificando la curvatura del cristalino.

En el caso del ojo artificial construido por los seres humanos esto no es posible. Una lente de cristal es rígida y su curvatura no puede variarse. Sin embargo, el cristalino del ojo de los vertebrados, formado por innumerables células, estaba preparado para ello. Sólo faltaba una combinación distinta de músculos, lo que se produjo hace unos 320 millones de años cuando los antepasados de los actuales anfibios se independizaron por completo del agua y se convirtieron en antecesores de los reptiles actuales. Las lagartijas y las tortugas ofrecen hoy esta solución. El cristalino es comprimido por un músculo anular, con lo que se curva más por su parte delantera y permite así el enfoque cercano. La estructura que se presenta en los seres humanos es distinta, pues se produjo un nuevo cambio hace 240-210 millones de años, cuando de los reptiles surgieron los primeros mamíferos. El cristalino no resulta ya comprimido sino que en posición de reposo es estirado por su parte media, con lo cual se aplana. El enfoque próximo se produce relajando las bandas musculares, con lo que el cristalino recobra de nuevo su posición normal algo más arqueada. Las aves no siguieron en este camino y a los seres humanos nos hubiera convenido más que nuestros antecesores hubieran continuado teniendo ojos reptilianos. No necesitaríamos entonces gafas, pues con la edad disminuye la elasticidad del cristalino. Al alejarse los músculos queda en posición normal, es decir, aplanado y ajustado a la visión lejana. En el ojo de los reptiles esto se logra mediante un músculo anular que envejece con mucha menor rapidez. En los mamíferos no es éste el elemento decisivo sino la constancia de la forma del cristalino, y con el enfoque lejano predominante se va perdiendo la tensión interna necesaria. Tampoco en este caso la evolución nos tuvo como meta a los seres humanos; sólo gracias a los avances de la medicina alcanzamos edades avanzadas, en las que la visión próxima, por ejemplo al leer, tiene también una gran importancia.

Aparece otra problemática debido a que una luz excesivamente intensa puede ocasionar daños, no sólo en el caso de los organismos unicelulares que flotan en el mar, sino también en el de las células del fondo del ojo especializadas en la recepción de la luz. Las células que forman pigmentos opacos desempeñan un papel importante en este caso. En los órganos fotosensibles primitivos realizan movimientos, que protegen como una sombrilla del exceso de luz. Por otro lado, en la oscuridad se retraen. En los ojos compuestos de los insectos, la capa de pigmentos que separa las distintas cuñas visuales se retrae en la oscuridad hasta tal punto que los rayos de luz pueden llegar hasta las células de diferentes cuñas. Con ello se pierde nitidez pero se gana percepción. En el ojo de los vertebrados se producen también desplazamientos de pigmento semejantes, además de variaciones en la forma de las unidades fotosensibles, así como secreción de sustancias que aumentan considerablemente la sensibilidad a los rayos de luz. En nuestros parientes más lejanos, las plantas, existen células fotosensibles capaces de percibir un único fotón de radiación solar. En las células fotosensibles de los órganos sensoriales animales no se alcanzan cotas semejantes. Entre los seres humanos, el rendimiento máximo se sitúa alrededor de 800 fotones. Algunos de nuestros parientes vertebrados especializados en la vida en la oscuridad, peces abisales, salamanquesas, felinos y monos capuchinos, han desarrollado un dispositivo complementario para aumentar su capacidad visual. Detrás de las células visuales se ha formado una capa que refleja los rayos luminosos igual que un espejo. Como consecuencia de ello un mismo rayo de luz excita dos veces la célula fotosensible, en el camino de entrada y en el de salida. Se consigue así duplicar el efecto. Esta es la razón por la que los ojos de un gato brillan en la oscuridad cuando la luz incide sobre ellos.

En el caso del ojo con cristalino existe otra posibilidad, la de abrir más o menos el orificio de entrada de acuerdo con la intensidad de la luz. Esta solución vuelve a alcanzarse de manera independiente en los cefalópodos y los vertebrados, mediante un iris coloreado con pigmentos y retráctil, que abre o

cierra ese orificio de entrada, la pupila (tabla 4, k). En ambos casos se encuentra situada inmediatamente por delante del cristalino, siendo su estructura la misma. Estudiando el desarrollo embrionario se ve que en los cefalópodos se forma a partir de un pliegue del ectodermo, mientras que en nuestro caso proviene del borde anterior del cáliz óptico. La cámara fotográfica está también dotada de un iris de este tipo. Dado que en las cámaras modernas la lente suele ser compuesta generalmente de varias lentes, el iris artificial se encuentra situado entre las lentes intermedias. Sea como fuera, la cámara dispone de ella. Constituida por células o construida con materiales fabricados por el hombre, la lente es un órgano que debe reproducir el entorno, estando su evolución predeterminada, ya que sobre la superficie fotosensible de la película fotográfica tampoco puede incidir un exceso de luz o una cantidad insuficiente. La abertura correcta del iris artificial, el diafragma, se determina con ayuda del fotómetro. En las cámaras modernas éste va «incorporado» y abre o cierra automáticamente el orificio. En los ojos de los cefalópodos y de los vertebrados encontramos el mismo mecanismo automático. El reflejo pupilar se produce a través de circuitos reguladores, lo mismo que el movimiento respiratorio y la regulación térmica de la sangre. En el caso de los animales nocturnos, dotados de ojos especialmente sensibles, por ejemplo la víbora europea, el zorro y algunos prosimios, la pupila tiene forma de ranura, lo que posibilita cerrar completamente la entrada de luz. En el caso de los peces abisales, cuyos ojos no pueden percibir nunca una gran cantidad de luz, el iris resultó superfluo, por lo que en algunos de ellos ha involucionado.

Con esto no se han agotado ni mucho menos todas las posibles estructuras comunes determinadas por una misma función. El iris necesita protección, que en el caso de los vertebrados viene dada por una zona transparente del ectodermo que lo recubre, mientras que en los cefalópodos, por otro pliegue que recubre el pliegue del iris y que, al contrario que éste, es transparente. En la cámara fotográfica esta protección, como ya se

ha dicho, viene dada por el hecho de que el diafragma se encuentra situado entre los componentes de la lente. En la cámara existe también una funda que protege el vidrio de la lente y que se coloca sobre ella cuando no se está fotografiando. De modo análogo, en los ojos de los animales se ha formado una capa protectora, que en algunos tiburones tiene aspecto de una membrana nictitante mientras que en los cefalópodos y los vertebrados terrestres adopta la forma de un párpado, que se cierra con ayuda de otros músculos situados ante el ojo (tabla 4, m). En el caso de los vertebrados terrestres, la membrana nictitante se convirtió, junto con las glándulas lagrimales, en órgano de humectación. El ser humano conserva restos de una membrana nictitante en el rabillo del ojo, haciéndose cargo de la humectación el párpado que funciona de manera automática. En nuestro caso, la secreción de lágrimas, a modo de llanto, asumió una función accesoria en la vida social como medio de expresión o incluso como arma.

Una cámara fotográfica puede orientarse con la mano en todas direcciones. Esta es una ventaja esencial propia de todos los órganos artificiales que se accionan con las manos y no están insertados en el cuerpo. En el caso de los ojos fijos al cuerpo, el cambio de dirección de la mirada creó un problema adicional. En su modo más sencillo se soluciona orientando el cuerpo de manera adecuada. Por el contrario, en los ojos más desarrollados nos encontramos con una esfera casi perfecta que gira en una cavidad adaptada perfectamente a su forma. También en este caso se produjeron, de manera independiente tanto en los cefalópodos como en los vertebrados, modificaciones genéticas ventajosas que, por consiguiente, se impusieron. Surgen entonces otra serie de problemas, porque los cordones nerviosos y los vasos sanguíneos deben entrar en la esfera de tal modo que el giro no moleste a los cordones nerviosos y éstos no impidan el movimiento. Este obstáculo se superó en ambos casos. Otro problema es que el ojo camerular da lugar a una imagen invertida, que debe girarse para ayudar a una reproducción final del entorno. La imagen obtenida con la cámara fotográfica la giramos con la mano y nadie se preocupa más del

asunto. En el ojo de los cefalópodos esto se consigue mediante un centro nervioso conectado entre el ojo y el cerebro (tabla 4, figura 2, h). En los vertebrados el propio cerebro se encarga de realizar esta operación. Sin embargo, son necesarias otras operaciones para comprender el significado de la imagen. Dado que en el ojo del vertebrado, y por tanto también en el nuestro, su fondo representa una evaginación del cerebro, la elaboración de la imagen comienza en la capa de células visuales *(retina).* En el ojo de los cefalópodos el ganglio óptico situado detrás se encarga de dicha operación. En los ojos compuestos de crustáceos e insectos hay, por lo general, tres ganglios conectados uno tras otro y entre sí mediante fibras nerviosas cruzadas. Igualmente, los nervios ópticos se cruzan en el ojo de los cefalópodos antes de entrar en el ganglio óptico y los de nuestros ojos antes de hacerlo en el derecho. ¿Por qué? Es una cuestión que no se ha logrado aclarar todavía. Existen evidentemente necesidades funcionales que dictan lo que debe formarse, independientemente de cuál sea su modo de aparición.

Se podrían citar otras formaciones paralelas, tales como la aparición de un punto de mayor resolución óptica en el fondo del ojo, tanto en los vertebrados como en los cefalópodos (tabla 4. g), y otros más. No obstante, debería ser suficiente con las que se han expuesto. Alcanzar la cumbre de una montaña, cualquiera que sea el camino por el que se ha llegado, es conseguir la cima en cualquier caso. Analogía: si es posible lograr un determinado efecto mediante una estructura concreta, ésta queda fijada, independientemente del camino que se haya recorrido para llegar a ella. Que su consecuencia sea producto de la casualidad o de la inteligencia es algo por completo superfluo, ya que el resultado necesario no queda afectado por ello. La conclusión es que si una mano hubiese dirigido la evolución no habría podido crear con libertad absoluta. Como han demostrado con especial claridad la formación del ojo y de la cámara fotográfica, no es el tipo del proceso de formación el que determina la forma de las necesidades sino la función a realizar.

Esta es la que dicta el proceso. Haya aparecido como consecuencia de una voluntad superior o por casualidad, un ojo camerular tiene su estructura predeterminada.

El segundo momento estelar en la evolución de nuestros ojos fue, pues, hace 460-420 millones de años, la transformación de la fosa orbitaria por su borde superior, gracias a la cual apareció el ojo camerular. El perfeccionamiento técnico duró entonces 150 millones de años. Con el ojo de los reptiles se había alcanzado casi la cumbre, se había logrado la mejor solución posible. Esta evolución se vio dificultada por el hecho de que las células visuales se encontraban en posición inadecuada, lo que no pudo alterarse ya mediante mutaciones si bien las desventajas se redujeron al mínimo. Durante la aparición de los primeros mamíferos no podía preverse que el ser humano alcanzaría, mediante una determinada organización, edades avanzadas, pero gracias a las gafas podemos compensar la debilidad aparecida en aquella época.

El tercer momento estelar, nuevamente muy alejado, fue la aparición de la capacidad de distinguir los colores. Aunque en la actualidad los tiburones dispongan de esta aptitud no significa en modo alguno que la poseyesen nuestros antepasados comunes. Dado que puede demostrarse la existencia de la percepción de los colores en las tres líneas de los artrópodos, moluscos y vertebrados que independientemente unos de otros desarrollaron órganos de visión, cabe suponer que dicha capacidad existió desde muy antiguo, hace unos 400-300 millones de años. En el ojo de los vertebrados las células denominadas *conos*, situadas en el fondo del ojo, se especializaron en esta función, mientras que las denominadas *bastoncitos* se encargaron de la distinción entre blanco y negro, más sencilla, y muy importante durante la visión crepuscular. Lo que percibimos como colores son las diversas longitudes de onda de los rayos de luz. Es importante mencionar aquí que somos capaces de percibir únicamente una banda muy reducida de la totalidad del espectro de ondas electromagnéticas. La longitud de onda oscila entre varias decenas de miles de kilómetros y muy por de-

bajo de una longitud de una millonésima de milímetro. En alguna ocasión se ha designado al cuerpo humano como un saco en el que, a través de orificios limitados, pueden penetrar determinadas señales procedentes del exterior. Es una comparación poco hermosa, aunque lo que se afirma en ella es cierto. Del inmenso espectro de las ondas electromagnéticas que entran a través del orificio de nuestros ojos, sólo percibimos las que se encuentran en la región comprendida entre una longitud de 4 y 7.5 milésimas de milímetro. Las primeras las percibimos como violeta y pasando después por el azul, el verde, el amarillo y el anaranjado, llegamos hasta el rojo. En el caso de las abejas, el orificio tiene un aspecto diferente. Estos insectos ven longitudes de onda situadas entre 3 y 6,5 milésimas de milímetro, es decir, el ultravioleta que nosotros no vemos, si bien no pueden diferenciar el rojo del negro. Por el contrario, pueden percibir la dirección de oscilación, o plano de polarización, de la luz y cuando el cielo está cubierto disponen así de una brújula muy fiable de la que nosotros carecemos, a pesar de que el ser humano la necesita mucho, en especial cuando navega. Esto nos demuestra otra vez que no somos en absoluto el resultado de un proyecto consciente y privilegiado sino el producto final de una cadena evolutiva, igual que cualquier otro animal o planta.

Otro momento estelar en el desarrollo de nuestros ojos, el cuarto, fue la aparición de la visión espacial, plástica. Para ello es condición necesaria que dos ojos miren en la misma dirección. Si cerramos uno de ellos, podemos deducir, mediante el movimiento de la cabeza, con el aumento o la reducción de un objeto, qué es lo que está más cerca o más lejos de nosotros. Sin embargo, si tratamos de enhebrar una aguja con un solo ojo nos percatamos de dónde reside la diferencia con la visión binocular. ¿Cómo y cuándo apareció esta facultad?

Existen peces que disponen de ella, por ejemplo los lenguados. Nadan con una de sus caras hacia arriba y se han adaptado a la vida en el fondo arenoso. Su cuerpo se hizo plano como una hoja y el ojo inferior se desplazó poco a poco a lo largo de la frente hasta situarse al lado del otro. Situado ya junto a él,

mira en su misma dirección hacia arriba. Por regla general, los animales se encuentran sobre la arena protegidos por un color camuflado. Si nos acercamos, podemos observar cómo perciben nuestra aproximación. El camaleón puede girar sus ojos hacia una dirección y, por lo tanto, dispone de visión espacial. No obstante, éstas son más bien excepciones. Para la mayoría de los animales resultó útil disponer de un campo visual amplio y así sus ojos miran a ambos lados. Podemos verlo en las lagartijas o en los ciervos. En el caso del cachalote no existe ninguna área en la que se superpongan los campos de visión de ambos ojos. En la línea de nuestros antepasados más inmediatos, la visión espacial apareció relativamente tarde. Los monos arborícolas que saltaban de rama en rama fueron los primeros que necesitaron desarrollar una capacidad que les permitiese evaluar con mayor precisión el espacio. El cuarto momento estelar del camino evolutivo de nuestros ojos se sitúa así a tan «sólo» unos 65-60 millones de años. Esto no sólo nos ha permitido enhebrar con precisión una aguja, sino que potenció también el desarrollo de nuestras facultades intelectuales. Nuestra capacidad de pensamiento e imaginación espaciales, y con ello la de vernos a nosotros mismos en la imaginación como objetos, que es tan importante, resultó asimismo potenciada en una buena medida.

Veremos ahora algunos detalles que quizá resulten de interés. Si abrimos los ojos bajo el agua, nuestra visión es borrosa. Esto se debe a la refracción de la luz en la córnea externa, que se produce en el interior del agua de un modo diferente a como lo hace fuera de ella. Para que pudiésemos ver con nitidez bajo el agua, nuestro globo ocular debería estar más curvado, como sucede en el caso de los peces. Si nos ponemos unas gafas de submarinismo separamos el agua del globo ocular, por lo que vemos con nitidez. Tenemos esta desventaja desde que nuestros antepasados, hace más de 360 millones de años, se adaptaron a la vida terrestre.

Nos ocuparemos a continuación de las pestañas. Su función es la de mantener alejados el polvo o pequeños insectos de nuestros ojos. Su edad debe ser aproximadamente la misma que

la del pelo, y por lo tanto igual a la de los mamíferos. Los reptiles carecen de pelo. Mientras que las plumas de las aves se desarrollaron a partir de las escamas de los reptiles, el pelo de los mamíferos es una formación nueva que les caracteriza. Nuestro pelo tiene una edad de unos 200 millones de años, cumpliéndose otro tanto para las pestañas. Por otro lado, las cejas tienen una edad de tan sólo 4-6 millones de años, si bien esto se refiere no a los pelos en sí sino a su posición en el borde de los párpados. Su función es la de evitar que el sudor llegue a los ojos. Aparecieron, es decir, permanecieron, en la época en la que nuestros antepasados perdieron el pelaje del cuerpo, es decir, en el intervalo de tiempo en el que a partir del primate depredador de la estepa surgió el hombre primitivo (tabla 16, H).

Tanto las pestañas como las cejas adoptaron como función secundaria la de ser aparatos señalizadores. El movimiento innato de levantamiento de los párpados y de las cejas se convirtió en una señal de reconocimiento. Mucho más antigua es la reacción innata que hace que un par de ojos dirigidos hacia nosotros nos pongan en guardia. Cualquier operación de ataque de un carnívoro, y también de los seres humanos, va precedida por la fijación de la vista. La reacción producida con ello, localizada como conexión específica en algún lugar del diencéfalo, se remonta posiblemente a la época de nuestros antepasados reptiles, es decir, a una antigüedad de unos 250 millones de años. Por aquel entonces disponíamos de un «tercer ojo» en el centro del cráneo. Un fósil viviente procedente de aquella época, el tuatera, todavía lo presenta. En las lagartijas también existe, si bien en franca regresión. Este ojo pineal dio lugar a nuestra glándula pineal, sobre la que volveremos más adelante (capítulo 14).

En el caso del ojo hemos llegado a cuatro momentos estelares. ¿Falta el quinto? En este órgano es posible seguir con gran precisión cómo las ayudas artificiales creadas por el hombre amplían inmediatamente las capacidades de nuestro cuerpo constituido por células: las gafas, el telescopio, la lupa y el mi-

croscopio que mejoran la capacidad de nuestros ojos. De la cámara fotográfica ya hemos hablado, aunque se transformó más bien en un órgano auxiliar de nuestro cerebro: la memoria. Lo que nuestro ojo ve de manera pasajera, el ojo artificial, la cámara, lo registra en una imagen fija o móvil, repetible y que puede transmitirse a otros. Con ello la cámara fotográfica se convirtió en un órgano de transmisión de información, y la fotografía y el cine en complementos técnicos de nuestro lenguaje. Hasta este punto no hemos introducido ningún principio esencialmente nuevo. La cuestión cambia en el caso de la televisión. Las imágenes se transforman aquí en impulsos que pueden transmitirse libremente a través del espacio. Pudimos contemplar el primer alunizaje simultáneamente, o para ser más precisos, algo más de un segundo más tarde, en las pantallas de los televisores de nuestros hogares. Por ello cabría considerar el invento de la televisión como quinto momento estelar del desarrollo del ojo humano. Éste se remonta a hace apenas 50 años.

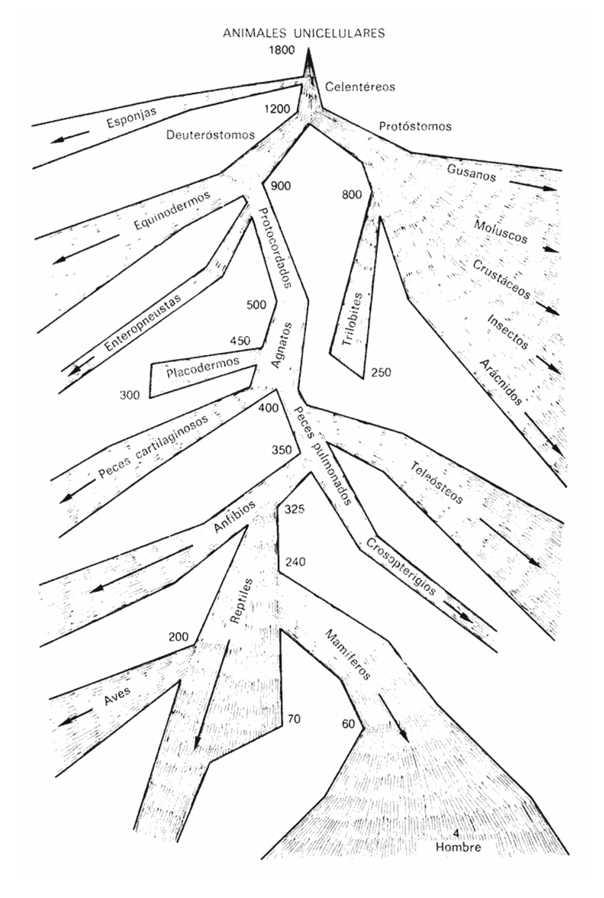
LA EVOLUCIÓN DE LOS ORGANISMOS PLURICELULARES ANIMALES

Tabla 5. Evolución de los animales pluricelulares (metazoos)

El despliegue de la vida puede equipararse a una corriente. Lo que denominamos «vida» es un despliegue energético que se continúa a través de estructuras materiales, a las que llamamos «seres vivos», que utiliza cada vez más materia y que aumenta su capacidad de producir trabajo. Por costumbre, contemplamos a los seres vivos como el elemento principal y consideramos como su requisito el proceso vital que se produce en ellos. Si observamos la evolución de la vida en su conjunto, entonces los seres vivientes concretos son únicamente herramientas en este suceso, estructuras materiales en las que la corriente que fluye puede continuarse. Como si tuviera mil tentáculos, esta «corriente vital» explora los nuevos territorios, conquista, a través de las «plantas» y los «animales», nuevos biotopos. Donde surgen los cuerpos que continúan la corriente, sigue fluyendo, y donde no sucede así, «se agota». Las estructuras con éxito se convierten en «especies» que se propagan a través de innumerables generaciones de individuos vivos. Todas las plantas y todos los animales son «individuos vivos» de este tipo, «transmisores del proceso de la vida». Desde este punto de vista, también el ser humano es un transmisor de este despliegue energético.

Esta tabla muestra una parte de la corriente de la vida, que se continúa a través de los animales pluricelulares, los metazoos, y que a la postre conduce hasta nosotros mismos. Los primeros organismos pluricelulares animales llegaron hace 1.800-1.200 millones de años a dos tipos de construcción que «florecen» hasta la actualidad: las *esponjas* y los *celentéreos*. Ejemplos de estos últimos son los pólipos coralinos y las medusas, que tanto éxito han alcanzado. Surgieron a continuación metazoos con un tubo digestivo continuo y se separaron las dos grandes corrientes evolutivas de los *protóstomos* y los *deuteróstomos* (pág. 35, tabla 9). Los primeros de ellos dieron lugar a los actuales anélidos, moluscos, crustáceos, arácnidos e insectos, además del grupo de los trilobites, tan rico en formas pero que se extinguió hace unos 250 millones de años. Tanto los anélidos como algunos moluscos (en este caso los gasterópodos) lograron conquistar la tierra firme, pero en especial los arácnidos y el grupo animal con mayor número de especies, los insectos. En la corriente evolutiva de los deuteróstomos, de los que nosotros procedemos, se separaron primero los equinodermos (erizos y estrellas de mar, holoturias) de los pequeños grupos de los enteropneustas, representados todavía en la actualidad, y los *protocordados*, de los que proceden todos los vertebrados. Los agnatos constituyeron el primer paso. Los placodermos, extinguidos hace 300 millones de años, resultaron ser una construcción a través de la cual la corriente de la vida no podía continuarse. Los peces cartilaginosos han continuado hasta la actualidad, representados en los tiburones y las rayas. Los peces

pulmonados dieron lugar, pasando por una pequeña «incursión en tierra firme» (pág. 8) a la diversidad de los actuales teleósteos, además de a los anfibios y los reptiles, a partir de los cuales surgieron más tarde los mamíferos y las aves. Estos últimos conquistaron el medio aéreo, de manera análoga a como lo hicieron los insectos entre los protóstomos, mientras que los mamíferos dieron lugar, entre otros grupos, a los primates con mano prensil y al ser humano, que gracias al especial desarrollo de su corteza cerebral logró utilizar de modo inteligente estas manos. Unió a su cuerpo órganos creados artificialmente, «las herramientas», y domina hoy el planeta Tierra.



V. EL MATERIAL GENÉTICO

El siguiente órgano del que nos ocuparemos es, seguramente, el más curioso de toda la familia de órganos que denominamos cuerpo. Le debemos nuestro nacimiento, nuestra existencia y muchas otras cosas más. Le debemos también buena parte de lo que consideramos nuestro «yo». Cuando sentimos hambre o sed, cuando nos arrebata la ira o la pasión, este órgano es, en última instancia, el responsable. Es tan pequeño que ningún ser humano lo ha podido ver con detalle. Incluso con el mejor microscopio electrónico tan sólo se le ve de modo aproximado. No poseemos un solo órgano de este tipo, sino más de 60.000 miles de millones. No se trata de una errata, hablaremos acerca de 60 millones de millones. Y todavía hay algo más extraordinario. Se trata de nuestro órgano más antiguo. El inmenso árbol filogenético de la vida del que el ser humano es únicamente una pequeña ramita entre millones de muchas otras, se inició con este órgano. Prácticamente todo el desarrollo de la vida se inició con él. El primer momento estelar de su evolución es el instante en el que nació nuestro antepasado más antiguo. Es el momento del nacimiento del antepasado común de todas las plantas y de todos los animales actuales. Por consiguiente, observemos este órgano tan curioso con más detenimiento.

Antes de entrar en ello, debemos corregir nuestra valoración normal de las cosas. Debemos eliminar del mundo algo que nos parece obvio. De acuerdo con nuestra idea adquirida por la experiencia, el apareamiento y la reproducción van unidos como carne y uña. Sin sexo no hay descendientes. Por lo tanto, el acto sexual es parte integral de la reproducción y por algún motivo misterioso su desencadenante necesario. Esto es cierto en tanto en cuanto ambos procesos están íntimamente vinculados, no sólo en caso del ser humano sino que también

en el de los animales y las plantas. Sin embargo, de hecho, ambos procesos no sirven para la misma función. No son servidores de un mismo señor. Como demostraremos más adelante, incluso se oponen. Por ahora nos basta con dejar claro que el acto sexual y la reproducción deben contemplarse siempre de forma separada y con ello también los órganos que sirven para estos procesos de acoplamiento. Por este motivo vamos a dejar inicialmente de lado el tema «sexo», y consideraremos la reproducción como si éste no existiese. Para evitar malentendidos diremos que existen suficientes seres vivos que pueden multiplicarse sin necesidad de la unión sexual. En el caso del ser humano el problema es más bien el de llevar a cabo la unión sexual sin generar descendencia, si bien sobre este tema volveremos en el capítulo siguiente. En este capítulo lo que nos interesa es el modo de multiplicación de los animales y de las plantas, lo que se necesita para ello y qué órganos sirven para esta función. Y además: cómo apareció paso a paso dicha función.

Reproducción: un individuo da lugar a otros. Un saltamontes crea otro saltamontes. Un abeto, otros abetos. Un ser humano, otros seres humanos. ¿Qué órgano es responsable de este proceso, cuál es su estructura, qué aspecto tiene?

Cuando una industria crea otra similar a ella, por ejemplo una fábrica de chocolate funda otra fábrica de chocolate, se precisa una enorme cantidad de órdenes determinadas. Órdenes dadas a los arquitectos, a los albañiles, a todo tipo de proveedores, etc. En definitiva: órdenes, puesto que deben obtenerse permisos y lograrse créditos bancarios, algo que en realidad nos son órdenes sino instrucciones. Si un abeto da lugar a otro o un zorro origina otros más, esto sólo es posible a través de las correspondientes instrucciones. Un determinado código de instrucciones es condición indispensable para que aparezca, a partir de una diminuta célula germinal, una estructura pluricelular del mismo tipo. En el caso de los organismos unicelulares la cuestión no es distinta. Se reproducen por división, para lo cual también se necesita un código de instrucciones que actúa en el interior de su cuerpo. Debe actuar de tal modo que todas

las partes, todos los órganos, se dupliquen y por último el todo se divida y de un individuo surjan dos.

Pensemos en las formas vivientes más primitivas que no habían alcanzado todavía la organización celular y estaban formadas tan sólo por algunos miles de moléculas. Sólo multiplicándose podían reproducirse. Sin embargo, en su minúsculo cuerpo debía haber también un código de instrucciones que diese lugar a las órdenes y reacciones necesarias para que se reprodujese una duplicación o multiplicación. Por consiguiente, este código tenía que llevar a cabo dos funciones: debía estar constituido de tal modo que el grupo de moléculas por él dirigido pudiese lograr energía y materia del entorno e incorporarlas al organismo, y en segundo lugar que produjese la división. Y debe quedar bien entendido que también durante este proceso tenía que dividirse, ya que cada uno de los nuevos individuos aparecidos debía disponer de estas instrucciones para ser completo y poder reproducirse a su vez.

El descubrimiento de este código de instrucciones, de este diablillo, es el más importante de la biología moderna. Tiene forma de escritura en la que la secuencia de las letras va insertada en un filamento (tabla 20, fig. 1). Esta escritura, sin embargo, sólo tiene cuatro letras, con las que se crean estructuras en forma de palabras y, a partir de éstas, otras en forma de frases. Lo importante de esta escritura consiste en que no se la lee sino que ella misma imparte órdenes. Propicia, de modo directo o indirecto, la obtención de átomos o moléculas del entorno y su ensamblaje en estructuras corporales, en estructuras de proteínas, como dicen los bioquímicos. La estructura está compuesta, desde un punto de vista químico, de ácidos nucleicos con bases unidas a ellos, las letras. De hecho, la cuestión no es tan complicada. Se trata de dos tipos de moléculas, de las cuales uno, los ácidos nucleicos, genera cadenas de escritura en forma de filamento, que permite la formación de moléculas de proteína de determinados tipos y combinaciones: la estructura corporal.

El diablillo, el código de instrucciones de todos los seres vivientes es, por consiguiente, un filamento más o menos largo

del que parten determinados efectos e instrucciones. Lo primero que hace es construir la estructura corporal. Lo segundo es realizar su duplicación y con ello su propia multiplicación. Quien haya entendido esto, observará a los seres vivos tal como los contempla la moderna biología. En el centro, una secuencia de escritura que emite instrucciones y es capaz de duplicarse, una escritura de la herencia, el *código genético,* y a su alrededor el resultado de sus instrucciones: la estructura corporal correspondiente. Al principio de la evolución, que se produjo en el mar, en el agua que había alrededor, el *caldo primigenio,* existía suficiente material de construcción. Los símbolos activos de la estructura simplemente lo atraparon y construyeron con él cuerpos vivientes. Más tarde, cuando este material de construcción comenzó a escasear, los organismos debían estar construidos de tal modo que pudiesen obtener de manera activa ese material de construcción, portador de energía y materia. Aquellos que lo consiguieron se reprodujeron, los que no, desaparecieron. Los que se reprodujeron eran, por lo tanto, aptos, mientras que los que no lo lograron es que no eran aptos. Lo que resultó adecuado se impuso, lo inadecuado no. Si se considera desde este punto de vista, el misterio de la adecuación deja de serlo. Sólo lo adecuado o apto podía reproducirse, con lo que las especies que han sobrevivido tienen que ser aptas. No sucedió así porque lo quisiese una pincelada del maestro sino porque sólo lo apto se reproduce.

Los filamentos se hicieron más largos y las estructuras que formaban aumentaron de tamaño, complejidad, eficacia y variación. Los filamentos no se desplazaban por el agua a modo de lanzas, cada vez más largas, sino que estaban enrollados como un ovillo en el centro de la estructura que habían formado. Y así ha seguido siendo hasta nuestros días. Las letras no cambiaron, han continuado siendo las mismas cuatro bases (adenina, timina, citosina y guanina). Sin embargo, las palabras y las frases se modificaron mucho, cada nueva especie de organismo tiene un código genético propio.

El primer momento estelar de esta evolución fue, por consiguiente, la aparición de esta escritura compuesta por letras

moleculares y capaz de autodividirse. Las estimaciones actuales lo sitúan hace unos 4.000 millones de años. La autodivisión y la salida hacia el exterior de las estructuras se basaba, en principio, en propiedades especiales de esta escritura de instrucciones y en la posterior evolución aparecieron órganos auxiliares encargados de efectuarla. Su estructura particular sigue siendo desconocida en gran parte. Por ejemplo, la división de las bacterias. En el curso de un proceso evolutivo que duró más de 1.000 millones de años, poco a poco fue apareciendo la célula, una unidad de vida mucho más organizada y cuyo mecanismo de división nos es mucho más conocido. En su estructura existen pequeños cuerpos, llamados corpúsculos centrales o centrosomas, que primero se dividen y después se desplazan hacia extremos opuestos. A partir de ellos aparecen, a modo de un complejo andamiaje, pequeños hilos que, insertándose en los extremos de los filamentos, estiran de ellos en direcciones opuestas. Entretanto se han multiplicado y tienen una considerable longitud. Para dar una idea concreta, diremos que en el caso de las bacterias tienen una longitud total cincuenta veces mayor que el diámetro de la célula bacteriana. En los seres humanos, el número de letras dispuestas a lo largo de esos filamentos es tan grande que esta escritura, traducida a letra de imprenta, llenaría más de diez volúmenes de una enciclopedia con mil páginas de letra pequeña cada uno de ellos. En cada una de las células que componen el cuerpo humano existe una secuencia de letras de este tipo. Sólo podemos sentir admiración ante la capacidad de separar limpiamente estos filamentos en cada una de las divisiones celulares. Deshacer el nudo gordiano es un juego de niños comparado con esto. Sin embargo, las instrucciones ancladas en esta escritura son tan eficaces, están dotadas de una idoneidad tal que, a pesar de todo, funcionan y de manera ininterrumpida se producen en nuestro cuerpo sin que los percibamos.

No obstante, nos hemos adelantado un buen trecho en la historia. Hace unos 2.400 millones de años se produjo, pues, la evolución de la célula, dotada ya de innumerables órganos de

gran complejidad: en el centro el núcleo con los ovillos de filamentos codificados inmensamente largos. En capas fósiles delgadas pueden reconocerse las células que surgieron en aquel entonces. Se había alcanzado así una unidad de gran eficacia que se propagó en diversas formas adaptativas, los organismos unicelulares, por los mares y restantes aguas y que se multiplicó con gran diligencia. El paso siguiente fue la aparición de los organismos pluricelulares. Las células se dividen, aunque permanecen juntas, formando aglomeraciones, colonias, y en estas comunidades se llega a la división del trabajo. Alcanzamos así el segundo momento estelar en el camino evolutivo de los órganos de la reproducción.

Nos encontramos ahora con la problemática de cómo debe dividirse el organismo pluricelular, es decir, cómo debe reproducirse. Si una colonia de este tipo consta de 100 o 1.000 células, es imaginable que se divida por el centro y que cada uno de los nuevos individuos formados siga su vida independiente. Sin embargo, para un cocodrilo o un abeto esto debe excluirse. ¿Cómo deben dividirse los ojos del cocodrilo, cómo podría dividirse el abeto y llevar cada parte una vida independiente? Esto sólo puede conseguirse con los efectos especiales de una película cinematográfica. En la práctica, el camino de la reproducción ya venía técnicamente predeterminado, por así decirlo, para los organismos pluricelulares. Al igual que algunas células se especializaron en la obtención de los alimentos, otras en la protección de la colonia y otras en la percepción sensorial, otro grupo tuvo que especializarse en la reproducción. Y así es cómo sucedió. Cualquier organismo pluricelular, cocodrilo, abeto, ardilla o ser humano, se desarrolla a partir de una única célula.

Antes de que nos formulemos la cuestión de cómo se realiza esto en la práctica y de cuáles son los dispositivos auxiliares necesarios, queda todavía otro problema de orden técnico: ¿cómo puede construir una única célula un organismo pluricelular cuyas diversas células se ocupan de distintas tareas, se especializan en procesos diferentes, por lo que hay células musculares, nerviosas, óseas, etc.?, ¿cómo es esto posible? Cuando

la célula se divide, también lo hace el código de instrucciones, con lo que éste se mantiene inalterado. ¿Cómo puede llegar a verificarse el que este código, estos filamentos infinitos, den lugar por un lado a músculos, por otro a vasos sanguíneos y por un tercero al pelo?

La solución al problema fue el segundo momento estelar. Es a la vez sencilla y grotescamente complicada. El material genético no sólo construye estructuras celulares sino que forma asimismo materiales que bloquean partes de su propio sistema de instrucciones. En las células del hígado están activas sólo aquellas partes del código genético que son necesarias para la producción de células hepáticas. En la célula muscular sólo aquellas que son necesarias para la formación y el mantenimiento de este tipo de células. Esto significa en la práctica que toda célula del cuerpo pluricelular, y esto sucede también en nuestro caso, contiene en su núcleo las instrucciones para la formación de todos los tipos de células. Sin embargo, como tachadas con un lápiz rojo, se señalan todas aquellas otras instrucciones que no son necesarias para una determinada función. Si procediésemos de manera similar durante la construcción de una nueva fábrica, se darían a cada trabajador todas las instrucciones necesarias para la construcción, contenidas en un enorme mamotreto de varios volúmenes y en el que para cada caso particular todo estaría tachado salvo las páginas 409-482 y 6.255-6.745, mientras que para otro serían otras páginas diferentes. Si pensamos en la mano conductora de un creador, éste ha elegido una técnica de reproducción evidentemente complicada y engorrosa. Sin embargo, tiene la ventaja de que en caso de necesidad todas las células disponen de todas las instrucciones, y de hecho la naturaleza y los experimentos nos demuestran que un tipo determinado de célula puede convertirse a menudo en otro completamente distinto. Esto se observa en general en los animales primitivos y todavía poco diferenciados, y en caso de lesión ayuda a reponer las partes perdidas. De todas formas, si una fuerza con un objetivo concreto hubiese dirigido la evolución, estos malabarismos también habrían sido posibles sin necesidad de tanto despilfarro.

Por consiguiente, el segundo momento estelar fue el desarrollo de sustancias inhibidoras, llamadas «represores», que el propio código genera y que sirven para imponerse a sí mismo límites. Si lo meditamos con atención, se trata de un proceso que nos llena de asombro. Es parecido a una legislación a la que se añaden unos cuantos tomos adicionales en los que se señala para quién son válidos esos párrafos.

Este avance decisivo se logró probablemente en los organismos unicelulares hace 3.000-2.500 millones de años, y posibilitó su adaptación estructural a diferentes funciones. Este mecanismo fue una condición indispensable para la aparición de los organismos pluricelulares. Sólo así pudieron surgir las colonias celulares con división del trabajo: peces, crustáceos, marmotas, enebros, chimpancés y también los seres humanos. Con todo, el mecanismo de reproducción del organismo unicelular no cambió en absoluto. En el cuerpo pluricelular, sólo algunas de las células se encargan de la función reproductora, formando nuevas colonias en las que los «represores» se ocupan de que unas determinadas células formen el pulmón, otras la sustancia cerebral o, en el caso de una planta, unas las raíces y otras las flores.

De todos modos la cosa no es tan sencilla. Primero, las células germinales deben estar bien provistas de energía y materia para poder generar así nuevas grandes colonias. Segundo, este proceso no debe ser perturbado por el entorno. Con un desarrollo carente de meta alguna, como es el de la evolución, se llevaron a la práctica todas las posibilidades imaginables: células germinales que, dotadas de su correspondiente material de construcción, son lanzadas al agua y dejadas a su propia suerte. Células germinales que crean en el cuerpo de la madre un individuo nuevo que un día se separa de ella. Células germinales que llevan a cabo su labor en el interior del cuerpo materno, del que el descendiente desarrollado sale a través de un orificio al mundo exterior y alcanza así una vida independiente. Células germinales que forman primero una larva, capaz ya de alimentarse por sí misma y que después, poco a poco, generalmente recorriendo innumerables estadios intermedios, adopta

una forma completamente distinta. En tierra firme el ejemplo nos lo muestra la oruga que se convierte después en mariposa. Cuando ha atesorado suficiente energía y materia, se convierte en pupa y, protegida dentro del capullo, realiza una completa revisión de las rayas rojas del código genético, apareciendo una forma completamente nueva. Los códigos de instrucciones contenidos en las células de la oruga y en las de la mariposa que surge de ella, son exactamente los mismos, pero las rayas han cambiado, con lo que cada célula ha recibido instrucciones nuevas.

El tercer momento estelar en la evolución que conduce al ser humano fue la aparición del huevo. En principio, no es más que una célula germinal dotada de una cantidad relativamente grande de material constructivo y de combustible, en forma de vitelo, y provista para su protección de una cubierta dura. Desconocemos cuándo se llegó a esta solución en la línea de nuestros antepasados, pero seguramente fue hace bastante tiempo. La multiplicación mediante la puesta de huevos está extendida de modo universal en todos los descendientes actuales de formas animales primitivas, como, por ejemplo, los gusanos. Cabe suponer que nuestros antepasados primitivos llegaron muy pronto, hace unos 1.400-1.200 millones de años, a esta forma de reproducción. Recordemos de nuevo que los organismos pluricelulares vermiformes que conservaron la boca original se han mantenido en diversas formas hasta la actualidad. Aquellos otros de los que procedemos nosotros, los que transformaron la boca primitiva en ano y continuaron desarrollándose hasta convertirse en peces, nos dejaron como únicos descendientes vivos a los enteropneustas. Todos los restantes no lograron imponerse y la competencia les aniquiló (tablas 5 y 9).

La célula germinal está dotada de todo lo necesario y es lanzada bien empaquetada o, como sucede en el caso más sencillo, simplemente dejada a su suerte. Por supuesto que dichos huevos son un alimento concentrado de alto valor nutritivo, bien recibido por otros animales. Por consiguiente, el proceso sólo será eficaz si se producen y sueltan grandes cantidades de esos huevos. Si su número es del orden de 100.000, siempre

queda la posibilidad de que 100 o 200 no resulten devorados y que a partir de cada uno de ellos pueda desarrollarse un individuo apto para la vida. Por supuesto, es mejor si la tasa de pérdidas es más reducida, puesto que los individuos jóvenes recién nacidos son presa fácil y su número experimenta un nuevo descenso notable, antes de llegar a ser lo suficientemente grandes como para poder generar ellos mismos descendencia. ¿Cómo puede reducirse esta tasa de pérdidas? O planteado de otro modo: ¿qué variaciones tuvieron que producirse en el material genético para que el proceso de la reproducción diese lugar a una gran cantidad de células germinales empaquetadas en huevos que pudiesen llevar a cabo, sin ser perturbadas, su difícil y paciente labor de construcción? Respuesta: tuvieron que aparecer los códigos correspondientes de comportamiento. Si los huevos se esconden durante la puesta en un lugar seguro en el que los ladrones no puedan olerlos ni encontrarlos, esto supone una ventaja indiscutible. Esto significa en la práctica que el código genético tuvo que desarrollarse de tal manera que las células del cerebro diesen instrucciones que condujesen a un comportamiento muy determinado. El código de instrucciones contenido en el núcleo de la célula construye entonces, mediante nuevas páginas de escritura y nuevas rayas rojas, una nueva serie de instrucciones. Esto es útil no sólo para la puesta de los huevos sino prácticamente para cualquier actividad con un determinado objetivo. En especial para la búsqueda de presas y la defensa contra los enemigos, las instrucciones del sistema nervioso central son de gran importancia. El código genético de lugar así no sólo a la estructura del cuerpo sino que también es responsable de las formas de comportamiento (tabla 18). Mediante diferenciación celular no sólo construye el hígado, el pulmón, las escamas y los ojos, sino también los mecanismos de órdenes del cerebro, que conducen más tarde a formas de comportamiento muy determinadas en los organismos pluricelulares una vez completados: conducen a formas de comportamiento innatas. El animal no las aprende sino que es dirigido por las instrucciones procedentes del cerebro que, al

igual que cualquier otro órgano, son construidas por las laboriosas células.

Todo el mundo sabe que muchos animales cuidan de sus huevos. Un ejemplo muy claro es el de los insectos. Piénsese en el caso del icneumón, que a través de la corteza del tronco deposita sus huevos en el interior de una larva que vive dentro de la madera, de tal modo que los huevos no sólo quedan bien protegidos sino que las larvas recién nacidas tienen acceso inmediato a una fuente suficiente de alimento. O piénsese en el cuidado que tienen las abejas con sus crías. Un comportamiento como éste no es aprendido sino que es innato. Dicho de otra manera: viene regido por instrucciones de las células del cerebro que el código genético construye de igual modo que hace con las restantes células del cuerpo de un icneumón o una abeja. En la serie de nuestros antepasados debieron aparecer ya en los vermiformes dispositivos adicionales de este tipo que potencian la reproducción. En el caso de los peces, están todavía muy extendidos y debieron de aparecer en sus antecesores (tabla 6, fig. 1). Como sea, téngase en cuenta que existen peces que transportan sus huevos en la boca para protegerlos, con lo que el medio reproductor que es el huevo pudo aumentar su rendimiento. Se escondieron los huevos, se les vigiló, se les defendió o se les dotó de envolturas gelatinosas o calcáreas, lo que dificultaba el ser devorados.

La conquista de la tierra firme trajo consigo también en este caso una problemática específica. Los anfibios podían vivir en tierra, pero para el proceso de la reproducción, casi todos ellos vuelven al agua. Ponen los huevos bajo el agua, donde se desarrollan igual que los de los peces. Nuestros antepasados, de los que también derivan los reptiles actuales, fueron los primeros organismos totalmente terrestres. Ponen sus huevos en tierra, lo que por otro lado crea unas nuevas condiciones. En primer lugar está el peligro de la desecación. Además, el medio terrestre es menos adecuado para la vida. En el agua, una minúscula larva puede encontrar sin dificultades su alimento; en tierra, el nuevo individuo debe estar muy bien dotado para poder conseguir alimento y defenderse de sus enemigos inmediatamente

después de salir del huevo. La célula germinal debe estar dotada, por lo tanto, de mucho más material de construcción y combustible, es decir, vitelo, por lo que en consecuencia debe ser de mayor tamaño. Debe estar además envuelta en una cáscara que la proteja contra la desecación. Por otro lado, y esto no es una tarea sencilla, por la cáscara debe poder penetrar el suficiente aire como para que las células del organismo en desarrollo tengan el oxígeno preciso y puedan desprenderse de los gases residuales venenosos, el dióxido de carbono producido durante la respiración. A través de este obstáculo creado por la colonización de la tierra firme, se produjo el desarrollo de nuestros antepasados con la ayuda de un dispositivo que la ciencia llama *amnios* (tabla 6, fig. 2, c). En la práctica, es un acuario construido en el interior del huevo en el que el individuo en desarrollo, el embrión del organismo pluricelular naciente, crece. La colonización de la tierra pudo producirse, por lo tanto, únicamente llevándose el agua, que hasta entonces envolvía al huevo, al interior de éste. A quien esto le parezca muy curioso baste con decirle que él mismo, hasta el momento de su nacimiento, estuvo nadando en un acuario como éste. Los mamíferos ya no producen huevos sino que llevan al hijo en su cuerpo. Sin embargo, el dispositivo del amnios se conservó (tabla 6, fig. 3). El pez sólo a través de este camino pudo transformarse, primero en animal terrestre y al final en ser humano. Desarrollándose, al menos durante el período embrionario, como un ser vivo acuático. La célula germinal se divide de la manera indicada, pero cuando la colonia ha alcanzado de 3.000 a 10.000 células se forma una membrana a su alrededor y se llena de líquido amniótico. El germen crece de este modo sin estar sometido a la gravedad de la tierra en el ambiente primitivo del mundo acuático. La formación de este acuario artificial, el amnios, fue el cuarto momento estelar en el camino evolutivo de nuestros órganos reproductores. Tuvo lugar hace aproximadamente 350-300 millones de años. Todos los reptiles actuales, así como las aves y los mamíferos, muestran hoy este órgano auxiliar de la reproducción.

El órgano central de la reproducción continúa siendo el material genético, escondido en el núcleo de la célula huevo, que da lugar al cuerpo pluricelular y que en cada una de las divisiones celulares se reproduce en el núcleo de la nueva célula formada. Los filamentos moleculares se hacen cada vez más largos, su división limpia es cada vez más difícil y las construcciones se componen cada vez de más palabras y frases. La cantidad de vitelo necesario crece para crear cuerpos más grandes y para suministrarles la cantidad de energía y material que necesitan. En tierra se hace necesaria una mejor protección en forma de una cáscara de huevo dura. La unidad auxiliar más importante en este caso es una piscina artificial que se forma en el interior del huevo. El descendiente de los peces puede crecer allí durante su desarrollo embrionario sin ser perturbado por la gravedad de la tierra, lo mismo que les sucedía a sus antepasados en el mar.

De todos modos, este acuario del interior del huevo no debe convertirse en un cubo de basura. Los conductos de eliminación de la orina del embrión desembocan, a través de un tubo, en una vejiga cerrada situada por fuera del acuario (tabla 6, figs. 2, 3, d). Su nombre científico es *alantoides.* Además, fuera del acuario se encuentra un saco vitelino a través del cual el embrión, al igual que sus antepasados peces, se alimenta y al que se mantiene unido. Saco vitelino, alantoides y amnios están envueltos por una membrana común, la serosa, que está sujeta al interior de la cáscara del huevo. Cuanto más grande se hace el embrión, tanto menor es el saco vitelino y tanto más crecen el amnios y el alantoides. Esto es válido para los huevos de cualquier reptil o ave. Sin embargo, el alantoides es algo más que un cubo de basura, pues tiene otra función importante.

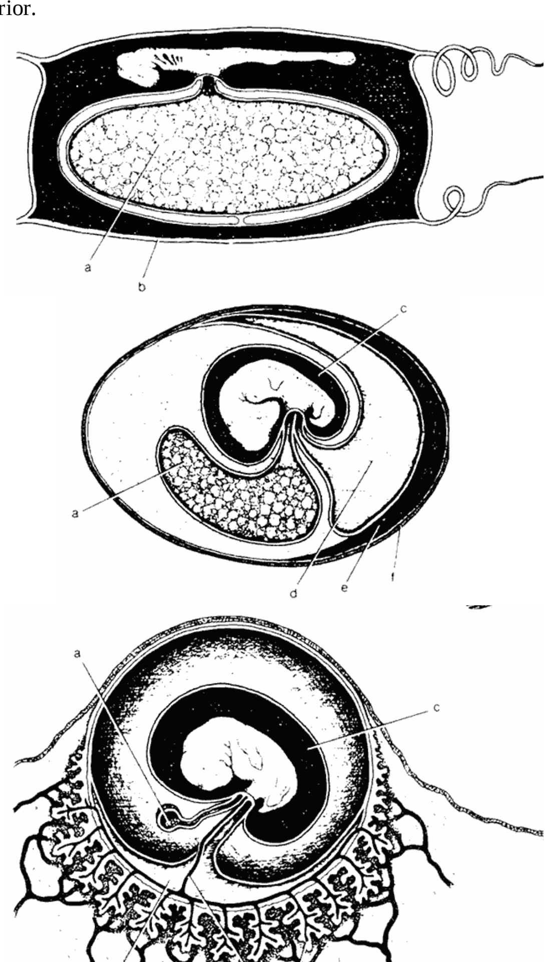
TABLA 6. El acuario en el que crecemos

Figuras: **1** embrión de tiburón en el interior de la cápsula del huevo, **2** embrión de lagartija en el huevo, **3** embrión humano en el útero materno (matriz). a = saco vitelino, b = pared de la cápsula, c = amnios, d = alantoides, e = cámara de aire en el huevo, f = cáscara con *serosa,* g = vasos sanguíneos maternos, h = vasos sanguíneos del embrión.

Reproducirse significa traer al mundo descendencia viable. En el agua, donde se originaron los primeros seres vivientes, resulta más sencillo que en la tierra. En el caso del tiburón (1) es suficiente con un saco vitelino (a) lleno de nutrientes para proporcionar material de construcción y energía al embrión que se desarrolla en el interior de la cápsula del huevo. Los productos de desecho (orina y dióxido de carbono) los elimina el embrión a la cápsula del huevo, a través de cuya pared elástica (b) pasan al exterior por difusión. Este embrión está pronto en condiciones de abandonar la envoltura protectora, continuar su desarrollo en el medio acuático y pasar a alimentarse por sí mismo. En los reptiles (2), que han pasado a una vida totalmente terrestre, el problema resulta más difícil. El medio aéreo es un «entorno hostil». El embrión debe estar más desarrollado para poder sobrevivir y alimentarse a pesar de la desecación y la fuerza de la gravedad. Crece en el interior de un huevo de cáscara resistente en una bolsa llena de líquido, el *amnios* (c), donde se encuentra como antes ingrávido y protegido contra la desecación. La energía y la materia las recibe, lo mismo que el embrión de tiburón, del saco vitelino (a), pero, sin embargo, ya no puedo deshacerse libremente de los productos tóxicos de desecho. Una segunda bolsa, el *alantoides* (d), se convierte en este caso en «cubo de la basura», recogiendo la orina. De todas maneras, el dióxido de carbono gaseoso puede seguir siendo expulsado al exterior: los vasos sanguíneos de las paredes del alantoides lo llevan hasta una cámara de aire (e) del interior del huevo, donde se difunde a la atmósfera a través de la pared porosa del huevo (f). El alantoides asume de este modo las funciones de un pulmón. Asimismo, incorpora oxígeno a la corriente sanguínea del embrión.

El embrión humano (3) ya no se desarrolla en el interior de un huevo sino dentro del cuerpo materno. De este modo la cáscara del huevo resultó superflua, e incluso perturbadora, por lo que dejó de formarse. Sin embargo, este embrión sigue creciendo dentro de la «piscina» del amnios (c), donde crece sin la acción perturbadora de la gravedad. Dado que ahora es el cuerpo materno el que se encarga de la alimentación, su saco vitelino (a) apenas es un esbozo. No obstante, el cambio a este nuevo método de alimentación no es sencillo. Hay que atravesar no menos de seis capas de tejido para que la circulación sanguínea materna (g) se ponga en contacto con la del embrión (h). El alantoides (d) es también en este nuevo entorno el órgano respiratorio del embrión. Los vasos sanguíneos de su pared, ampliada en prolongaciones digitiformes, expulsan de nuevo el dióxido de carbono hacia el «exterior», que ahora es la circulación sanguínea de la madre, y recogen oxígeno. Aún más: la orina, que en los reptiles permanece en el alantoides, es eliminada a los vasos sanguíneos maternos y por la misma vía el embrión recibe sustancias nutrientes. Desde la conquista de la tierra firme por parte de nuestros antepasados, han transcurrido más de 350 millones de años. Sin embargo, el ser humano continúa creciendo

como un pez en un acuario. Si el hombre fuera una construcción predestinada a la vida terrestre podría haberse formado de manera mucho más sencilla, y se podría haber evitado los complejos modos de toma de contacto entre los vasos sanguíneos de la madre y del embrión que se desarrolla en su interior.



1. Tiburón

2. Lagartija

3: Hombre

Durante la evolución de la vida todo es posible. Su membrana es alimentada por vasos sanguíneos y está fija en parte a la serosa y a la cáscara del huevo. Sin embargo, esto significa que a través de la vía sanguínea que atraviesa la serosa y la cáscara porosa del huevo puede producirse un intercambio gaseoso. El gas incluido en el huevo constituye tan sólo un intermediario (tabla 6, fig. 2). El alantoides se convierte de este modo, en el curso del desarrollo embrionario, en una especie de pulmón en el que el dióxido de carbono es eliminado y penetra oxígeno desde el exterior. Además, dentro del huevo hay que distinguir tres unidades fundamentales aparte del propio embrión. El amnios, en el que el embrión descansa ingrávido y que aumenta en la misma medida que él lo hace, el saco vitelino, que disminuye el tamaño, y el alantoides, que se hace cargo además de la función del pulmón y que también aumenta de tamaño. Finalmente ha acabado el desarrollo. Debido a instrucciones de comportamiento innatas, el individuo surgido rompe la cubierta del huevo, abandona la cáscara y el alantoides y se lanza a la lucha por la vida.

En este avance pesan también instrucciones instintivas. Las tortugas marinas, reptiles que regresaron a las aguas, llegan hasta las playas, entierran en la arena los huevos y dejan que el sol se encargue de incubarlos. Los megapódidos que viven en la región indomalaya y que como todas las aves proceden de los reptiles, construyen sobre los huevos un cúmulo de material vegetal en el que se produce la incubación gracias al calor generado durante la fermentación. Por consiguiente, dejan que sean procesos químicos los que se encarguen de incubar los huevos por ellas. Los tordos nos muestran cómo se colocan encima de los huevos para comunicarles el calor necesario. Todo esto, y muchas otras cosas, apoyan el proceso mediante el cual una célula separada del cuerpo da lugar a un nuevo individuo animal, siguiendo estrictamente los mandatos del código genético contenido en el núcleo. Todo apoya el funcionamiento de este código de instrucciones. Si es del tipo que incita a los descendientes de las células a la formación de un cocodrilo, entonces aparece un cocodrilo. Si les ordena la formación de una

cigüeña, surgirá ésta. El huevo, el saco vitelino, el amnios, el alantoides, la cáscara y el comportamiento de los cuidados de la incubación son trabajos adicionales. La vida se ha propagado también hacia las regiones secas del planeta. Nuestros antepasados y parientes lo pueblan por entero. Esto sólo ha sido posible mediante la reproducción. Este problema quedó solucionado, es decir, se implantó una corriente evolutiva que conduce hasta nosotros mismos, a pesar de que nos consideremos algo completamente distinto.

El quinto momento estelar de esta evolución se produjo cuando nuestros antepasados, hace 230-200 millones de años, dejaron de poner huevos y pasaron a llevar en su propio cuerpo a los descendientes. El camino hasta allí fue sencillo. En un principio todavía se ponían huevos, pero no abandonándolos a su suerte sino incubándolos en una bolsa ventral. El ornitorrinco todavía lo hace así en la actualidad. O bien, los huevos quedaban dentro del cuerpo materno, donde eran incubados, aprovechando la homeotermia en desarrollo. Sucede así para todos los mamíferos. La cáscara del huevo se hizo superflua a lo largo de la evolución y por lo tanto involucionó. En lugar de la alimentación al embrión con ayuda del saco vitelino, pudo aparecer una alimentación directa a través del sistema circulatorio de la madre. De todos modos, el embrión y el cuerpo materno están en principio separados por varias membranas. Entre los vasos sanguíneos del embrión y los de la madre no existe, inicialmente, ninguna comunicación. Precisamente el cubo de basura, el alantoides, se convirtió aquí en determinante. El huevo actuó de pulmón, convirtiéndose en punto de partida para una relación íntima con la madre. En la actualidad los mamíferos muestran todavía cómo la pared del útero de la madre segrega primero, a través de la serosa adyacente, materias nutritivas que llegan al embrión a través de los vasos sanguíneos del alantoides. La serosa forma entonces papilas que penetran en la pared del útero y los vasos sanguíneos del alantoides crecen en ellas, uniéndose a los del sistema circulatorio de la madre. De esta forma tan curiosa apareció el tejido que une el ger-

men con la madre, la placenta. El sistema circulatorio sanguíneo de la madre se encarga entonces del contenido del alantoides y suministra a través de sus vasos materias nutritivas directamente al embrión. Con esto hemos llegado a nosotros mismos, a los seres humanos. Incubamos a nuestros descendientes en nuestro propio cuerpo. El amnios en el que se encuentra el embrión ya no está envuelto por una cáscara. Ésta se ha vuelto innecesaria, ya que la madre cuida de él personalmente. El saco vitelino sigue existiendo, aunque bastante reducido y no contiene ya vitelo. Parece superfluo mencionar que todo esto no indica en modo alguno una construcción que tuviese por un objetivo preciso al ser humano. Todo embrión humano sigue presentando este desarrollo incómodo y en principio sigue separado de la madre. Durante el parto, debe expulsarse el tejido de la placenta. Después, los cuidados prosiguen, fuera del cuerpo. Al hijo ya no se le alimenta a través de la circulación sanguínea sino que se le amamanta. Por consiguiente, tuvieron que desarrollarse también formas de comportamiento innatas, por un lado, en el recién nacido para mamar y, por otro, en la madre, que facilitasen el proceso de succión. Otros órganos para la reproducción son las glándulas mamarias, los pezones y los códigos de instrucciones del comportamiento para que el proceso funcione. Con ello hemos llegado al final de una larga cadena evolutiva. Al principio, se producía una enorme cantidad de huevos, en el caso del bacalao son millones, de los cuales la mayoría son devorados por otros animales. Más tarde, se producen menos huevos que se cuidan con más esmero. Después, se entierran huevos dotados de un acuario interno muy desarrollado. Más adelante, aumentan los cuidados a los huevos, que crecen de tamaño, y por último, aparece un menor número de descendientes con un riesgo de pérdida mucho menor. Se les transporta en el interior del vientre, son alimentados por la sangre de la madre e incubados con el calor de la sangre. En el caso de las aves, que también se transformaron en animales homeotermos, esta solución no fue posible. Su vida aérea exige que el peso sea lo más reducido posible. Por consiguiente, con-

tinúan poniendo huevos, construyendo nidos, incubando, protegiendo y alimentando después a las crías que nacen de ellos. Por el contrario, los mamíferos reducen la cáscara del huevo y el saco vitelino, traen al mundo a las crías ya desarrolladas, las protegen y las alimentan con leche.

En este punto cabe indicar que existe una gran cantidad de otros animales vivíparos. Igual que el ojo se inventó varias veces, o que los órganos prensiles o los centros nerviosos aparecieron en las diversas líneas evolutivas de modo independiente entre sí, en ellas se produjo también el transporte de los huevos en el interior del propio cuerpo. Existen, por ejemplo, diversas especies de tiburones vivíparas. En su caso también se forman papilas. La circulación sanguínea alimenta a los embriones y retira de ellos las materias residuales. Existen asimismo plantas vivíparas, por ejemplo, el mangle. Su semilla no germina sola en un suelo alejado sino que se desarrolla unida a la planta madre, de la que más tarde cae. Tiene forma de un estilete y perfora el suelo. De este modo crece tan próximo al árbol madre que se transforma en un competidor suyo, mientras que las semillas normales pueden alejarse mucho más. En el caso de los animales que pueden desplazarse, esta desventaja no existe. Maduran protegidos por el cuerpo materno y son protegidos y alimentados más tarde por la madre, por ambos padres o por la manada, hasta que se independizan.

Entre los mamíferos este quinto paso evolutivo tiene una especial importancia, que en nuestro caso tiene un gran peso específico. En estos animales homeotermos se produjo un gran desarrollo del cerebro. Adquirieron mayor capacidad de aprendizaje, por lo que dependieron cada vez menos de formas de comportamiento innatas (tablas 10 y 18).

El comportamiento innato se debe a que el material genético oculto en los núcleos de las células da lugar a estructuras nerviosas en el cerebro, que conducen a que el animal actúe y reaccione de manera innata. Ninguna mariposa tiene que aprender a volar. Las órdenes para sus músculos ya están predeterminadas y se producen de modo automático. La mayor

parte de las acciones de los insectos son de este tipo y, por consiguiente, se deben a instrucciones del material genético. Su capacidad para variarlas mediante el aprendizaje es bastante limitada. Los mamíferos se transformaron, por el contrario, en animales de aprendizaje. El comportamiento automático involucionó cada vez más. Las crías aprenden las capacidades que les son necesarias en una lucha individual con el entorno. Llegan incompletas al mundo y necesitan de la protección y en gran medida también de la alimentación de los padres. Al principio están indefensas. Sin embargo, a través del proceso de aprendizaje se adaptan a las condiciones del entorno existentes en cada situación, lo que supone una ventaja importante. La desventaja es que el proceso de aprendizaje mediante ensayos y error dura algún tiempo. Por ello, es necesaria una protección de la prole por parte de los padres o de la manada. En el caso del ser humano la corteza cerebral alcanzó un desarrollo extremo, lográndose una gran capacidad de aprender, relacionar causa y efecto e incluso de valorar, planificar y proyectar el comportamiento en el cerebro. Apareció la conciencia del «yo» y asimismo la capacidad de la comprensión mediante el lenguaje. Lograr todo esto y «aprenderlo» dura bastante tiempo. Mientras que el cachorro del león alcanza la edad adulta a los tres años, una jirafa joven a los 2 años y un chimpancé a los 5 años, el niño debe ser cuidado entre 8 y 14 años, y con la formación profesional moderna incluso durante más tiempo. La inteligencia reporta ventajas inmensas, si bien exige una protección de la prole mucho más prolongada por parte de la madre, los dos padres o la comunidad. Las ventajas del viviparismo, de la lactancia y del cuidado prolongado al joven todavía incompleto deben, por lo tanto, juzgarse unidas al desarrollo intelectual.

Como ya hemos visto, la mano humana se transformó en relación con la inteligencia mental y la emergente conciencia del «yo», en un órgano que potenciaba inmensamente su poder a través de la técnica. Con la ayuda del lenguaje fue posible transmitir a otros los códigos de comportamiento adquiridos y,

con ello, ahorrarles la necesidad de tenerse que formar a sí mismos mediante un largo proceso de ensayos y errores. Todas las generaciones comunican sus experiencias a las siguientes, por lo que las novedades y las mejoras se transmiten independientemente del material genético.

La posición erguida de nuestros antepasados primates produjo una desventaja, la de las posiciones de la pelvis. La cabeza del niño es cada vez mayor, pero la pelvis no puede ensancharse debido a las condiciones impuestas por el nuevo modo de desplazamiento. Por lo tanto, se producen problemas durante el nacimiento. Este es quizás uno de los motivos por los que el niño llegue tan incompleto y desvalido al mundo. La función reproductora chocó aquí con la del desplazamiento: un auténtico conflicto de funciones. ¿Qué sucederá en el futuro? ¿Hay perspectivas de un sexto momento estelar, se ven nuevas posibilidades en el sector de la reproducción?

No y sí. Empecemos por el no. En la famosa novela *Un mundo feliz*, el escritor inglés Aldous Huxley exponía la solución al problema reproductivo para los siglos venideros. Las madres ya no tenían que ocuparse durante nueve meses de sus hijos, ya que éstos, por decirlo así, crecían en el tubo de ensayo. De esta forma, se podía influir constantemente sobre el embrión con hormonas y otros estímulos, de tal suerte que de él saliese lo que hacía falta, seres humanos predestinados a ser diligentes y otros, creados para dejarse gobernar fácilmente, especialistas en esta o aquella función y que están contentos y satisfechos con su trabajo. Un mundo totalmente manipulado. ¿Es esto utópico e imposible?

En modo alguno. Si pensamos que hace unos 250 millones de años nuestros antepasados llevaban a cabo todo su desarrollo fuera del cuerpo materno en un huevo, si se piensa que unos parientes nuestros, las aves homeotermas e inteligentes, también crecen en el interior de huevos, no puede excluirse del todo que la evolución vuelva de nuevo, y esta vez por medios técnicos, al huevo. A un huevo perfeccionado para el desarrollo artificial del embrión fuera del cuerpo de la madre. Mediante cultivos de tejidos se puede crear, en principio, una placenta

artificial. Si al comienzo dijimos que no, era simplemente porque una evolución de este tipo es muy improbable, sobre todo porque es muy compleja y costosa. En verdad, la posibilidad de actuar con un fin determinado es mucho mayor así. Sin embargo, cabe pensar que el ser humano más evolucionado no esté dispuesto a someterse a una manipulación total como ésta. Creo más bien que se alcanzará una mejora distinta en un futuro cercano, que será la implantación de un óvulo fecundado en otra mujer a la que habrá que pagar. Esta se encargará entonces de los meses incómodos con el vientre agrandado y el parto, y después entregará el niño. Este último presenta las características hereditarias de los padres, ya que el desarrollo en un vientre extraño no influye decisivamente sobre él. Con ello se ayuda a ambas partes. La mujer que puede permitírselo traslada las molestias del embarazo a una persona que actúa de sustituto, que se hace cargo de la tarea si el precio pagado le conviene. Si bien el instinto humano se resiste en principio a un proceso como éste, la nodriza que da de mamar al recién nacido es ya un primer paso en esta dirección, aunque, si se utilizan ciertos criterios valorativos, no es «natural». Otro tanto rige para la alimentación con biberón.

Esto no representaría evidentemente un nuevo momento estelar, ya que en este caso tan sólo se traslada, mediante una manipulación técnica a través de una intervención quirúrgica, un proceso de un individuo a otro. El resultado no varía esencialmente y el proceso continúa siendo el mismo. Otra cosa sería si el ser humano consigue, y de ello se habla insistentemente, realizar manipulaciones en el material genético. Esto, sin embargo, ya no pertenece a la temática de este capítulo sino a la de los siguientes. Hasta ahora sólo hemos hablado de reproducción, no de transformación o cambios en el material genético, formación de nuevas especies o acerca del auténtico motor de la evolución. Tal como se resaltó al principio, éste es un problema distinto que debe desligarse con claridad de la función reproductora. En cada uno de los actos de la reproducción de lo que se trata es de duplicar o multiplicar un sistema existente, es decir, obtener monos a partir de monos, ratas a

partir de ratas o abetos a partir de abetos. Esta es una tarea enorme y difícil, y el órgano que se encarga de ella es el material genético. La alteración de éste, su nueva construcción para que dé otros organismos pluricelulares, otras plantas y otros animales, es una problemática completamente distinta. De ello se encargan órganos diferentes de los que trataremos en lo que sigue. Llegamos así a aquellos órganos y procesos que dificultan tanto a las madres explicarles a sus hijos cómo se produce un niño.

VI. EL SEXO Y SUS ÓRGANOS

No hay nada en el mundo que parezca más natural que el hecho de la existencia del hombre y la mujer. Siempre fue así y continuará siéndolo. También entre los animales hay machos y hembras. La vida humana sin los dos sexos sería absurda e inimaginable. La familia se construye sobre esta dualidad. Por todos lados topamos con los problemas y las consecuencias de la sexualidad y el amor: celos, ternura, flirteo y pasión, la lucha de los sexos, la unión y la separación, la alegría y la tragedia. «Que el hombre y la mujer sean uno», leemos en la Biblia. La convivencia entre ambos pasa por ser el elemento central dentro de la sociedad humana, la base de los ideales éticos, un acto de creación de la voluntad divina. Pero por otro lado, el proceso de la unión es algo íntimo, se considera incluso como algo pecaminoso. El sexo como lastre. La vergüenza. La ocultación de los órganos sexuales, el gran misterio frente a los niños... ¿pero qué significa todo esto al fin y al cabo? ¿Por qué existen dos versiones del cuerpo humano? ¿Por qué muestran los animales, e incluso las plantas, tal polaridad? Si queremos saber de qué material está construido nuestro yo, qué significan nuestros órganos, por qué nuestro cuerpo tiene este y no otro aspecto, hay que contemplar entonces esta dualidad con lupa. ¿Cuándo y cómo apareció? La pregunta está tanto más justificada y tiene tanto más sentido por cuanto en el marco de la evolución, en el entramado de ramas del gigantesco árbol de la vida, lo inútil, lo que no tiene sentido y no es funcional no se mantiene ni medra, al menos durante largos períodos de tiempo. La competencia entre las diversas estructuras vivas lo impedía. En esta competencia desaparecieron las cosas sin función y sin sentido. ¿Entonces por qué tanto trabajo para dar lugar a los dos sexos? ¿Por qué este fenómeno problemático del apareamiento? ¿Una pincelada del creador con objeto de dar color a la creación? ¿Un proceso necesario para hacer posible la reproducción?

Es un error muy extendido, incluso en la mayoría de las obras científicas, contemplar la reproducción y la sexualidad como una unidad funcional indisoluble. De hecho, se trata de dos procesos completamente diferentes que, si bien están íntimamente relacionados, como veremos, por motivos indiscutibles, tienen funciones completamente diferentes. En el caso de la reproducción, como ya se ha mostrado, se trata, en último término, de una función del material genético. Es de su competencia la reproducción, es decir, el proceso que permite que un cacto dé vida a otros, un corzo a un semejante, etc. En esta función, sin la cual la vida no podría haberse desarrollado nunca, de lo que se trata es de algo especialmente difícil: la nueva construcción de un individuo de la misma especie. Esto es precisamente lo que hace el material genético, los filamentos interminables de moléculas sobre los que, con escritura genética, están ordenadas las innumerables instrucciones necesarias para ello. División del núcleo, división de la célula, el huevo, el cuidado de la prole y muchas otras cosas más son procesos suplementarios y estructuras dentro del marco de dicha función. En el acto del apareamiento sexual no se trata de la división de un material genético en dos, etc., sino del proceso exactamente opuesto: la fusión de dos materiales genéticos en uno. ¿Por qué se da? Si la división ya es muy complicada y enmarañada, la unión representa un problema aún más difícil. Cada filamento de material genético de la célula germinal masculina debe encontrar su compañero en la femenina. Recuérdese cuán interminablemente largos y retorcidos se encontraban estos filamentos dentro del núcleo de la célula. Cada una de las frases de la escritura de las instrucciones genéticas debe encontrar su igual en la escritura del compañero y unirse a ella; cada palabra, a su homóloga, cada letra, a la que le corresponde. Hemos de decir desde un principio que no tenemos apenas idea de cómo sucede esto. Lo único que hacemos es sacar a la luz una enorme problemática, el problema técnico tan difícil, las preguntas: ¿Por qué tiene que suceder esto? ¿Por qué esta complicación? ¿Qué beneficio reporta este proceso?

Para responder a estas preguntas, debemos volver de nuevo al proceso fundamental de la vida. Se transmite mediante individuos que se multiplican y sólo puede hacerlo de esa manera. Signifique lo que signifique, este proceso sólo puede tener lugar a través de la reproducción, la multiplicación. Donde no se logró esto, la corriente evolutiva se detuvo por sí sola. Si una planta, o una especie animal, no podía multiplicarse, desaparecía. No hay, por tanto, alternativa a la reproducción. Pero con esto no hemos acabado. A través de esta necesidad se explica la conservación de las especies, pero no, en cambio, el medio por el cual aparecen otras nuevas, es decir, distintas; las ranas dan ranas, el trigo da a su vez trigo, pero hoy sabemos que todas las plantas y todos los animales proceden de antepasados comunes de tamaño submicroscópico. Esto significa que algo tuvo que alterarse en el material genético si aparecieron nuevas especies. Estas variaciones se producen en realidad, y de manera espontánea. Si durante la división se cometen fallos, entonces la escritura que contiene las instrucciones varía: por regla general, lo que aparece es algo de menor valor, que no puede imponerse sobre la competencia. Sin embargo, a veces puede aparecer algo mejor, algo más adecuado. El logro de lo más adecuado y el rechazo de lo menos apto se produce en un mismo lugar o en un medio alterado. Estos cambios del material genético, que se producen de modo automático, se llaman *mutaciones.* Sin embargo, ellas solas no bastan para explicar la riqueza actual de las plantas y de los animales. El intervalo temporal de 4.000 millones de años es excesivamente corto para ello. En la lucha por imponerse de los organismos, estas estructuras trajeron consigo una ventaja, la de acelerar la aparición de nuevos materiales genéticos. ¿Cómo es esto posible? Muy sencillo, mediante la unión de materiales genéticos diversos. Con ello aparecen diversas combinaciones. Evidentemente, si el material genético de un alga se une al de un pez no puede surgir nada que sea viable. Por el contrario, si se funden los materiales genéticos de dos congéneres entonces pueden aparecer descendientes aptos para la vida, dotados de nuevas

características estructurales. En resumen: la fusión de materiales genéticos es un proceso que potencia y acelera en gran medida la aparición de nuevas especies, combinando, en distintos lugares y de diversas formas, las mutaciones que aparecen. En ello reside su valor, su necesidad. Tanto para el individuo como para la conservación de la especie, carece de valor. Es un mecanismo que potencia el desarrollo total de la vida, sin el cual dicho desarrollo evidentemente no habría podido tener lugar. Éste es el punto fundamental. Los órganos que se hicieron superfluos involucionaron, tanto en las plantas como en los animales, a la corta o a la larga. Resulta tanto más notable el que el dispositivo tan complejo y técnicamente tan complicado de la fusión regular de materiales genéticos se conservase casi sin excepción en casi todas las plantas y animales, una prueba casi irrefutable de que, sin la ayuda de este proceso en el curso de la lucha por imponerse, habrían fracasado, no individualmente, de manera personal, sino en cuanto a la sucesión de las generaciones. Donde aparecía algo nuevo, mejor, lo antiguo y menos eficaz era eliminado automáticamente. Los dispositivos que conducían a que lo nuevo y lo mejor apareciesen de modo automático constituían, por ello, una clara ventaja. De ahí todo el esfuerzo de la unión sexual, toda su complicación. De ahí la división en dos sexos, cuyo desarrollo vamos a contemplar con más detalle. De ahí la existencia del hombre y de la mujer, y los inmensos efectos sobre nuestra vida práctica, sobre la sociedad humana y sobre el yo de cada uno.

El primer momento estelar de esta evolución es, por tanto, aquel en el que nuestros antepasados alcanzaron la capacidad de fusionarse entre sí. ¿Cuáles fueron? No tenemos ni idea de cuándo apareció la diferenciación de los sexos, el proceso del apareamiento, si bien podemos suponer que este momento estelar tuvo lugar en época muy temprana, ya que cuanto más sencillo fuese el material genético menor sería la estructura corporal a la que estaría ligado y mayor sería la probabilidad, desde el punto de vista técnico, de que los materiales genéticos se fusionasen. Por consiguiente, es probable que la bisexualidad surgiese poco después de la aparición de la vida. En el

«caldo primigenio», muy rico en energía, los primeros seres vivos chocaban entre sí. Evidentemente sólo entonces fue posible la existencia de este proceso de fusión. Una vez aparecido, demostró ser tan ventajoso que se mantuvo incluso con la creciente complicación de sus estructuras. Está claro que sólo era eficaz cuando iba seguido de procesos reproductivos. Por este motivo se da hasta la actualidad este estrecho acoplamiento. Pudieron aparecer especies en las que la reproducción se verificase también sin unión de material genético, y de hecho dichas especies existen. En este caso se habla de gemación, poliembriotonía y partenogénesis. Especialmente entre las plantas y los animales inferiores este proceso se da con una cierta frecuencia. Sin embargo, los fenómenos de apareamiento intersexual se encuentran siempre intercalados entre ellos. En definitiva, ese proceso resultó imprescindible por muy complicado, difícil y costoso que resultase. Donde desapareció, la especie no perduró en otras especies más perfeccionadas sino que quedó eliminada. Mientras que la reproducción sirve para el mantenimiento de la especie, la unión de los materiales genéticos produce la aparición de nuevas especies y la superación de las existentes. Como ya hemos señalado, éstos son procesos opuestos. Uno de ellos es responsable de que una misma estructura se conserve mediante multiplicación, que perdure en las generaciones siguientes. El otro se ocupa de que aparezcan nuevas estructuras, que con posterioridad, en la práctica, eliminan a las que les precedieron.

Supongamos que, tal como se admite en la actualidad, el proceso de la vida se inició hace aproximadamente 4.000 millones de años; entonces esta mecánica potenciadora de la evolución podría haber aparecido poco tiempo después, hace unos 3.600-3.000 millones de años. El primer momento estelar es, por consiguiente, aquel en el que los materiales genéticos del mismo tipo o similares se unieron. Con ello, sin embargo, surgió el problema de cómo podían encontrarse dos individuos, de cómo podían reconocerse. Al principio, el proceso debió de depender del encuentro casual. Más tarde, no obstante, se formaron órganos que potenciaban el encuentro, que facilitaban el

proceso de fusión de los materiales genéticos. La siguiente mejora en esta evolución es inmediata. Se llama división del trabajo. Uno se especializa en la percepción sensorial y la movilidad. El otro se hace cargo entonces de la tarea de la reproducción. Con ello se alcanza la división entre masculino y femenino. Sin embargo, por lo que nos permiten saber nuestros conocimientos científicos hasta la fecha, no fue para conveniencia de los seres humanos o para depararle sentimientos placenteros y sensaciones poéticas. Esta dualidad, que según Schopenhauer introdujo en el mundo un elemento extraño, hostil e incluso demoníaco, o según Jean Paul completó el género humano, no se produjo por placer a éste sino hace unos 3.500 millones de años antes de que apareciese el primer hombre pensante. Y además surgió en tanto que condición necesaria para la aparición de una gran variedad de seres vivos y, por tanto, también del ser humano.

Por lo tanto, el segundo momento estelar, que seguramente se produjo poco después del primero, hace unos 3.400-2.800 millones de años, fue la división del trabajo entre los sexos. La parte femenina se encarga de la tarea de la reproducción. Se hace cargo de la división cuidadosa del material genético, de la formación del huevo, del embrión que surge del amnios, de la formación de la placenta y del parto. La parte masculina es responsable del proceso de mezcla de los genes: la búsqueda de un congénere y la unión de su propio material genético con el de éste. En el caso más sencillo, que se ha mantenido hasta la actualidad en algunos organismos unicelulares, las partes masculina y femenina presentan el mismo aspecto, es lo que se llama *isogamia.* Sin embargo, cada una de ellas se especializó enseguida en una tarea, apareció la *heterogamia.* El individuo masculino es más pequeño, móvil y está dotado de la capacidad de encontrar al femenino. Este, por el contrario, recoge los materiales y cantidades de energía necesarios para la reproducción, para el sustento de los individuos, es menos móvil, espera y forma después de la unión, de la conquista por parte del otro, un revestimiento que protege contra la penetración de otros materiales genéticos. De esta manera, aparecen características

sexuales, condición necesaria para el reconocimiento de los individuos, para la unión de las células germinales. Entre los organismos unicelulares se produjo ya esta diferenciación —como puede demostrarse en la actualidad— que perduró en los organismos pluricelulares. Con ello, la evolución posterior tuvo que resolver una doble problemática. Primero, los congéneres debían ser capaces de reconocerse. Segunda, las partes masculina y femenina debían estar en disposición de reconocerse como compañeros sexuales. Desde el organismo unicelular hasta el ser humano, nada ha variado a este respecto. Cuando hoy nos excitamos cuando el compañero sexual nos habla y se dirige a nosotros, se continúa un proceso animal que seguramente tiene una antigüedad de 3.000 millones de años.

En este libro se intenta considerar únicamente lo esencial. Por consiguiente, la enorme complicación de la división de maduración se mencionará tan sólo de pasada: en toda célula los materiales genéticos están presentes por partida doble. Para que no se vuelvan a duplicar durante la unión, deben dividirse antes en los individuos masculino y femenino. Inicialmente, después de la fusión, se ponía en marcha la reproducción. Sin embargo, dado que el proceso de encuentro entre los distintos filamentos moleculares es un asunto trabajoso y complicado, éste se pospuso en el desarrollo de la evolución para un momento posterior. Entre los organismos pluricelulares superiores la nueva formación se produce después de la unión de las células sexuales, sin fusión de los filamentos de material genético. Más tarde, en la «línea germinal», es decir, en la formación de las células sexuales masculinas y femeninas, se produce con toda tranquilidad dicha división, la *meiosis*. Esto se menciona sólo para completar la exposición, pues lo esencial es simplemente que los sexos están diferenciados. Todos los organismos pluricelulares, con excepciones irrelevantes, tienen individuos machos y hembras, presentan características por las que pueden reconocerse y están dotados de dispositivos para el apareamiento: para el proceso de unión de sus genomas.

En el caso de las plantas, a las que sólo consideraremos de pasada debido a que no se encuentran en nuestra serie más próxima de antepasados, esto dio lugar en tierra firme a enormes complicaciones. Las plantas terrestres no pueden moverse, aunque tampoco lo necesitan, debido a su forma de conseguir energía y sustancias. Los rayos solares inciden por sí mismos sobre ellas, y donde hay agua pueden vivir. Sin embargo, ¿cómo pueden juntarse las plantas masculinas y femeninas? Primera solución: el hermafroditismo. La misma planta produce células sexuales masculinas y femeninas, situadas lo suficientemente próximas entre sí como para poder alcanzarse. Sin embargo, la posibilidad de que se produzca la combinación para dar nuevas mutaciones es pequeña. Segunda posibilidad: las células germinales masculinas emplean también las vías acuáticas existentes en tierra, por ejemplo el suelo húmedo, para llegar hasta las células germinales femeninas. Las plantas terrestres de este tipo han sobrevivido hasta nuestros días: son los helechos. Tercera solución: las fanerógamas, que convierten al viento y a los insectos en mensajeros amorosos. En este último caso se lleva a cabo algo que encontrará más tarde un paralelismo en el ser humano dotado de conciencia. La planta forma una flor que atrae a los insectos y les ofrece sustancias azucaradas, es decir, portadoras de energía, a modo de «honorarios». El insecto no tiene ninguna idea del papel de intermediario que desempeña, ni tampoco la planta que produce la flor. Sin embargo, lo esencial es que todo ello funciona, que el «intercambio» se lleva a cabo. Los insectos, es decir, animales móviles, atraídos por la forma, el color y el aroma, buscan las flores, que tienen una estructura tal que las células germinales masculinas se quedan adheridas al insecto. Cuando éste visita otras flores, dichas células llegan a órganos que las conducen hasta las células germinales femeninas. Un intercambio muy parecido al que se produce en el comercio. Durante el tiempo del transporte del polen, el insecto se convierte en un órgano de desplazamiento de las plantas inmóviles. Se le paga con azúcar, néctar y polen, es decir, con energía y materiales. Exacta-

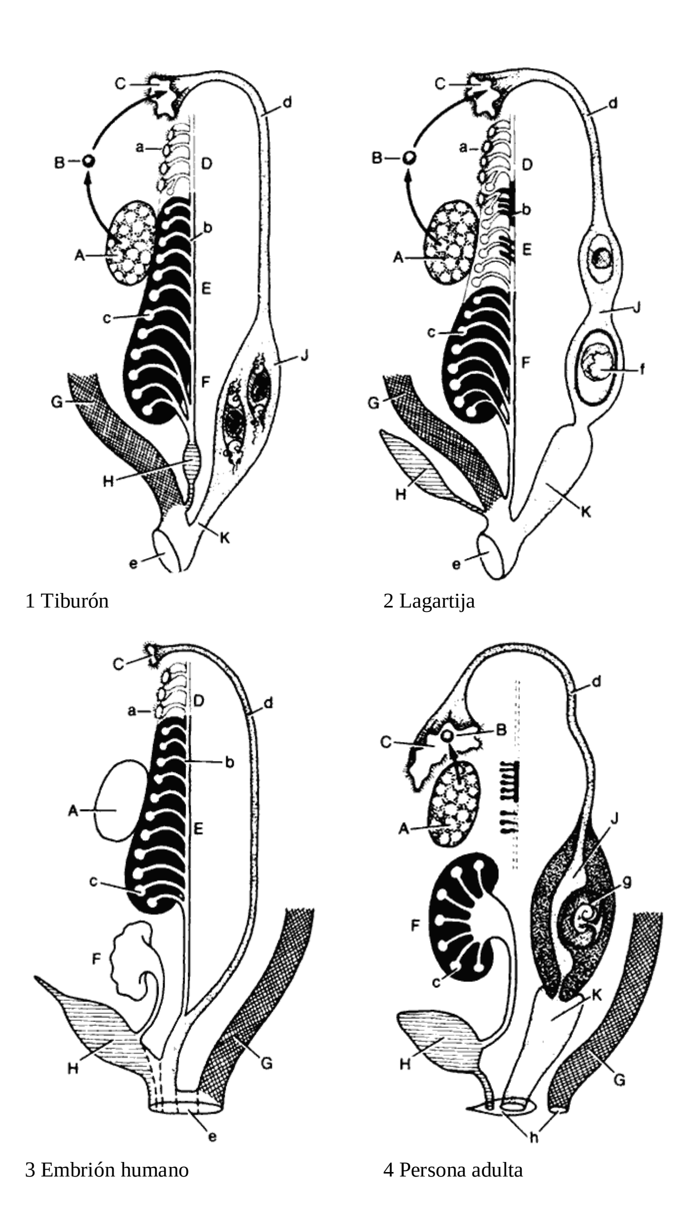
mente igual que en la sociedad humana, donde el empleado trabaja, realizando tareas que uno no puede o no desea llevar a cabo, y recibe dinero como pago, con el que compra energía y materiales. Se trata en este caso del resultado de un acto inteligente, allá lo es de una larga cadena de mutaciones, sin embargo en ambos casos el resultado es el mismo, se realiza una función necesaria. Una función necesaria para la continuación del flujo de la vida a través de los individuos y de las generaciones, que no puede llevarse a cabo por sí misma y para la que se emplean otros individuos. En el caso de las plantas, el insecto sirve de medio de transporte para las células germinales masculinas. Las plantas se sirven de una operación de intercambio análoga para su reproducción: las semillas están envueltas en paquetes de azúcar que llamamos *frutos*. Los animales son atraídos por ellos, los devoran y transportan así la semilla hasta que la expulsan al exterior, con lo que las plantas se reproducen. Nuevamente un intercambio. Otra vez se convierte a los animales en órganos de desplazamiento. En este caso no se trata de insectos sino de animales frugívoros. Aquí se fomenta una actividad económica muy extendida entre los seres humanos. Uno convierte a otro, por sus contraprestaciones, en órgano suyo. Sin embargo, nos hemos apartado demasiado del tema del presente capítulo, la bisexualidad, su significado y su desarrollo.

TABLA 7. El arriesgado rodeo de las células germinales (gametos) femeninas a través de la cavidad abdominal

Figuras: sistema urogenital (en esquema) **1** del tiburón, **2** de la lagartija, **3** del embrión humano y **4** del ser humano adulto. A = ovario (en los machos se sitúan aquí los testículos), B = óvulo, C = gonostoma del oviducto, D = pronefros, E = mesonefros, F = metanefros, G = tubo digestivo, H = vejiga, J = útero, K = vagina, a = nefrostoma primitivo de los canales excretores, b = túbulo renal primitivo, c = cápsula de Bowman, d = oviducto, e = cloaca, f = huevo con cáscara, g = embrión humano, h = vías excretoras separadas.

La mujer que sufre un embarazo en el interior de su vientre debe esta circunstancia al hecho que el cuerpo humano no es una construcción dirigida

y que presenta defectos, explicables por la génesis filogenética de sus órganos. La eliminación de la orina y la producción de descendencia no guardan entre sí la más mínima relación, pero ya que para ambas funciones se necesitan conductos de salida, en nuestros antepasados los primitivos tiburones de hace 450-400 millones de años se produjo una estrecha asociación entre las gónadas, productoras de células germinales *(gametos)* masculinas y femeninas, y los órganos de excreción, procedentes de sencillos canales *(nefridios)* que se abrían a la cavidad del cuerpo mediante embudos ciliados *(nefrostomas)* y recogían de ésta los productos de desecho. En los tiburones, los reptiles y también el ser humano, estos nefrostomas (a) aparecen en el curso del desarrollo embrionario para experimentar después una regresión. Puesto que durante la evolución histórica estos pequeños canales se pusieron en comunicación con el sistema vascular en formación, se originaron cápsulas (c) en las que los canales retiraban ahora los productos de desecho de la sangre. Las células germinales masculinas (los *espermatozoides)* son tan pequeñas que pueden salir al exterior a través de esos mismos canales, razón por la que en el hombre orina y semen se eliminan por el mismo camino (tabla 8, fig. 1, e). Por el contrario, los óvulos eran demasiado grandes y de su transporte al exterior se hizo cargo un canal de este sistema que todavía hoy se abre a la cavidad corporal en los vertebrados, incluido el ser humano, con un embudo ciliado (d). El ovario (A) desprende los óvulos (B) en la cavidad abdominal y deben llegar hasta ese gonostoma ciliado (C). En la fecundación interna maduran en el oviducto, cuya sección media se convierte en el útero (J). Así sucede ya entre los tiburones, y en los reptiles se forman huevos de mayor tamaño que se recubren de una cáscara calcárea (2, f). En el embrión humano (3) aparecen todavía los esbozos de las tres secciones' renales: pronefros (D), mesonefros (E) y metanefros (F): otra demostración de nuestro origen a partir de peces. En el ser humano adulto sólo el metanefros es funcional, habiendo involucionado los otros dos. De todas formas, en el hombre persiste el conducto del mesonefros convertido en espermiducto o conducto seminal (tabla 8, c). En la mujer el gonostoma del oviducto (4, C) se ha aproximado a la gónada femenina *(ovario),* aunque los óvulos tienen que seguir desplazándose hasta este gonostoma después de la *ovulación,* algo que no siempre funciona. En caso de una planificación dirigida la gónada, como cualquier otra glándula, habría llevado sus productos directamente a un canal de expulsión. Sólo la conexión histórica entre las gónadas y el sistema de excreción *(sistema urogenital)* explica este punto débil en la mujer.



1 Tiburón

2 Lagartija

3 Embrión humano

4 Persona adulta

Volvamos al tema. Los congéneres deben encontrarse y fusionar sus materiales genéticos. Para ello, además de las restantes complicaciones, todavía hace falta algo esencial: un impulso. Hemos vuelto así otra vez a nosotros mismos y a nuestros parientes animales. Vemos por doquier cómo los machos buscan a las hembras, cómo los sexos tienden a unirse, cómo los estados de excitación acompañan a este proceso, los estados de placer que genera el éxito y los de displacer a que da lugar el fracaso. Sin embargo, los animales no conocen la excitación del placer y displacer conscientes, esta conciencia aparece sólo en los seres humanos. En principio, en todos los casos se trata esencialmente de lo mismo: los sexos se atraen y su unión es recompensada. Las células sexuales masculinas y femeninas deben encontrarse, deben unir antes o después sus materiales genéticos. Esto es una necesidad, ya que, en caso contrario, la sucesión de generaciones quedaría en desventaja en la lucha por imponerse. Si no fuera así, a partir de una especie no surgiría otra nueva, distinta y mejorada. Sólo así puede aumentar la perfección, aparecer algo más apto para la vida y más eficaz. Este principio es tan necesario como la obtención de alimento, cuyo desarrollo con éxito es estimulado también mediante excitaciones que se perciben como positivas.

¿Cómo continúa la historia? ¿Dónde se encuentra el siguiente momento estelar en esta evolución tan importante para nosotros? Se formó una enorme variedad de órganos e instrucciones de comportamiento gracias a la cual las hembras y los machos se encontraban. Sobre la «vida amorosa de los animales» se han escrito numerosísimos libros. En ningún lugar se ve una línea rectora unitaria: cualquier mutación casual que potenciaba esta necesidad se mantenía y servía de orientación para nuevas líneas evolutivas. Existen peces abisales entre los que el macho es mil veces menor que la hembra y que crece fijo a su cuerpo. Algunos gusanos poliquetos marinos presentan estructura masculina en los primeros segmentos y femenina en los últimos. Cuando las células sexuales no se dispersaron libremente en el agua sino que el macho las introdujo directamente en el cuerpo de la hembra, se consiguieron importantes

ahorros. Éste es el caso de los tiburones, entre los que una parte de la aleta ventral se ha transformado en los machos en un tubo que se introduce en la parte final del intestino de la hembra, en la que también desembocan los órganos genitales femeninos. Para ello, el macho se enrosca sobre la hembra, temblando de excitación, de placer inconsciente. Igualmente, los turbelarios, emparentados con los antecesores de los moluscos actuales, han desarrollado un pene tubular que introduce los espermatozoides en el interior del cuerpo de la hembra. También en este caso se evita el deterioro. En algunos de estos gusanos, sus costumbres son todavía más bruscas, ya que clavan el pene en algún lugar del cuerpo de la hembra, igual que un puñal. Los espermatozoides se dispersan entonces por el interior del cuerpo de ésta y se desplazan, regidos por directrices genéticas, hasta el punto en el que se encuentran los óvulos, fusionándose con ellos.

En el agua, estos procesos lograron imponerse porque resultan económicos. No existe todavía una necesidad absoluta de apareamiento directo. Por el contrario, sí que la hay en la tierra firme. A diferencia de lo que sucede en el agua, el medio aéreo no es propicio para la vida. Las células sexuales se secan con gran rapidez en contacto con el aire, por lo que, para ellas, aunque dotadas de un flagelo, no existe la posibilidad de desplazarse. Entre los primeros vertebrados terrestres que se desarrollaron a partir de los peces pulmonados, los anfibios primitivos que se movían ya sobre sus patas, las hembras y los machos regresaban al agua para aparearse. La mayoría de sus descendientes actuales han continuado practicando este método: así nos lo muestran hoy las ranas. Machos y hembras estrechan sus cuerpos y expulsan las células sexuales. La salida al exterior se produce, también aquí, a través del ano. Las células sexuales se forman en órganos especiales situados dentro de la cavidad corporal y llegan, a través de canales estrechos, al extremo del intestino (tablas 7 y 8). En el caso del macho es el mismo canal a través del cual expulsan la orina, y en el de la hembra, uno que discurre paralelo a éste. Ambos desembocan al final del intestino. De este modo, la porción intestinal final

es puerta de salida para las heces, la orina y los productos sexuales. Por este motivo hablamos de una «cloaca».

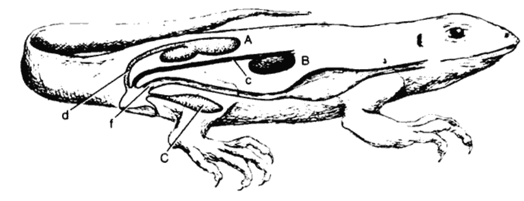
Hace 325-315 millones de años, a partir del gran grupo de los anfibios se desarrollaron los primeros reptiles, que son los antepasados inmediatos de los mamíferos y del ser humano. Se independizaron por completo de la vida acuática. Para ello necesitaban un dispositivo, una estructura acanalada, que durante el apareamiento se introduce en el extremo del intestino femenino y conduce el esperma hasta el oviducto femenino. De este modo, las células seminales, los espermatozoides, llegan sin secarse a su destino. En todas las especies de reptiles actuales existen estas estructuras en forma de pene. Los machos disponen de un pene doble —salvo las tortugas, que sólo tienen uno—, de los cuales sólo uno se emplea en cada ocasión mientras el otro queda en reserva. La salida de las células sexuales en la cloaca se produce en las hembras igual que sucede entre los anfibios, a través de un conducto propio (tabla 7, d). En los machos han involucionado los uréteres iniciales y un nuevo órgano se ha hecho cargo de la función de eliminación de la orina. Dispone de una vía propia de salida. El uréter se transformó en un conducto seminal que, muy próximo éste, desemboca en el extremo del intestino (tabla 8, c).

TABLA 8. El curioso descenso testicular del hombre

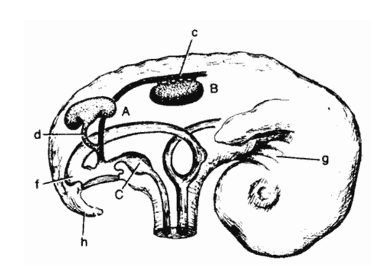
Figuras: **1** sistema urogenital en el hombre, **2** en la lagartija, **3** en el embrión humano. A = riñón (metanefros), B = testículo, B' = testículo antes del descenso, C = vejiga, D = pene, E = próstata, F = pubis, a, b = cuerpos cavernosos, c = espermiducto, d = uréter, e = uretra, f = recto, g = esbozo de las branquias, h = esbozo de la cola, x, y, z se explican en el texto.

La figura 1 muestra el miembro masculino (D), el *pene*, en posición funcional de acoplamiento. Gracias a los cuerpos cavernosos (a, b) se endurece en forma de vara que puede ser introducida en la *vagina* de la mujer. Los testículos (B) se encuentran dentro del escroto y los gametos *(espermatozoides)* producidos por ellos recorren el espermiducto (c) en un recorrido, en verdad, bastante sorprendente. El espermiducto asciende hacia el pubis (F), le rodea, la vejiga (C), se cruza con el uréter (d) y desemboca (en el interior de la próstata E) en el punto «x» en la uretra (e), a través de la cual los espermatozoides son introducidos *(eyaculación)* mediante el pene en la vagina en el curso del *orgasmo*. ¿Por qué este rodeo? Si el

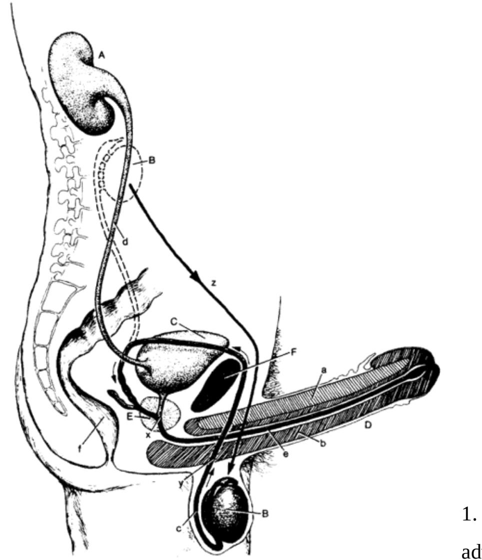
hombre fuera una construcción planificada, este camino habría sido mucho más sencillo y adecuado desde el punto «y» al «x».
La figura A muestra la posición de los riñones. La orina que producen fluye a través del uréter (d) hacia la vejiga (C) y desde allí, a través de la uretra (e), hacia el pene (D), que cumple así una doble función: eliminación de la orina y expulsión del semen. De que ambas funciones no se interfieran se encarga la próstata (E) mediante músculos anulares que reciben las correspondientes órdenes del sistema nervioso. Se elimina orina o se expulsa semen. La explicación de este curioso rodeo está en el modo en que surgió el ser humano a partir de antecesores peces, pasando por todos los vertebrados terrestres. En los peces, las gónadas aparecieron en la pared de la cavidad general del cuerpo, cerca de los primitivos riñones (tabla 7, A), y esta posición se mantuvo también en los anfibios y los reptiles, como nos muestra por ejemplo el lagarto (2). En este caso, los espermatozoides y la orina se conducen a través de conductos diferentes (c, d) hacia la *cloaca* de la parte final del intestino (f). En el embrión humano (3) de seis semanas también existe una cloaca de este tipo, no apareciendo los conductos separados del intestino (1, e, f) hasta fases posteriores del desarrollo. Al mismo tiempo, los testículos se sitúan debajo de los riñones (B') y entre cuatro y ocho semanas antes del nacimiento se produce el *descenso testicular* (flecha «z»). Los testículos se desplazan hacia abajo, abandonan la cavidad abdominal y se sitúan por fuera del cuerpo dentro del escroto. Así se explica el curioso rodeo del espermiducto alrededor del pubis y de la vejiga. Lo mismo que las hendiduras branquiales, el esbozo de cola y la cloaca en el embrión (3, g, h, f), revela que el hombre, en su configuración actual, no es una construcción planificada sino que su cuerpo se explica por el curso filogenético recorrido. Hasta la fecha no se ha podido demostrar ninguna ventaja en este desplazamiento, que también se produce en otros mamíferos. Debido a su colocación en el exterior, los sensibles testículos quedan expuestos a multitud de riesgos, como muy bien sabe quien se da un golpe en esta parte del cuerpo. Además, con el descenso testicular aparece el canal inguinal: en el hombre es una zona muy débil, como se sabe al sufrir una hernia inguinal.



2. Lagartija



3. Embrión humano



1. Persona adulta

Llegamos ahora a nosotros mismos. Entre los mamíferos actuales más primitivos, el equidna y el ornitorrinco, la vía de salida de las células sexuales continúa siendo la misma que la de las heces. Sin embargo, y debido en buena medida al viviparismo y a las complicaciones que conlleva, los conductos genitales se separan del final del intestino. Apareció una vía de salida especial, que entre los machos sigue desembocando junto con la de la orina y en las hembras lo hace mediante un canal especial. Este se ha dividido entretanto en tres segmentos: un oviducto, un útero y una vagina, conducto que acoge al pene (tabla 7, J, K). En el macho el conducto de salida de la orina y del esperma se ha desplazado al pene, que durante esa función se endurece gracias a cuerpos esponjosos. En algunos mamíferos, el pene viene reforzado con un elemento óseo, como por ejemplo entre los lobos y zorros. El ser humano dispone de tres cuerpos esponjosos, órganos tubulares que recogen sangre e impiden su salida mediante músculos (tabla 8; fig. 1, a. b).

Entre nuestros parientes y antepasados el pene experimentó diversas transformaciones. En la llama tiene dos puntas de desarrollo desigual, algunos insectívoros y el jabalí lo tienen en forma de sacacorchos y en los cobayas y los gerbos está dotado de dos púas. Las estructuras provistas de ganchos están muy extendidas para la rotura del himen de la hembra. Los órganos productores de esperma sufrieron un destino curioso en el camino evolutivo de los mamíferos (tabla 8, B). En principio se encontraban, como ya dijimos, en la cavidad abdominal. Desde ahí fueron descendiendo poco a poco. Científicamente esto recibe el nombre de *descenso testicular*. Los elefantes los siguen teniendo internos. Entre los carnívoros, los primates y nosotros mismos han abandonado esta posición y se encuentran dentro de un saco que se mantiene unido al pene. ¿Por qué? ¿Qué ventaja reportó esto? Hasta la fecha no se ha encontrado una respuesta válida a esta cuestión. Algunos afirman que el calor del cuerpo de los animales de sangre caliente no les sienta bien a las células sexuales masculinas, mientras que otros consideran que la razón es la falta de espacio. Este descenso debe alinearse seguramente con aquellas mutaciones que, si bien no

reportaron ninguna ventaja, tampoco supusieron una gran desventaja. Las glándulas germinales del hombre se encuentran en su actual posición mucho menos protegidas que en el interior del abdomen, si bien, como ya hemos señalado, esto no supuso evidentemente una decisiva desventaja. El proceso es, por consiguiente, un argumento de peso contra aquellos que creen que la evolución es deseada y sigue una meta, que su objetivo es la formación del ser humano. En los hombres los conductos seminales ascienden hasta penetrar en el abdomen, se cruzan allí con los uréteres y descienden de nuevo: es evidente que no se trata de una construcción intencionada, y únicamente es comprensible dentro del contexto de la historia evolutiva. ¿O es que no procedemos de los anfibios? Sí: el desarrollo del embrión humano muestra esta ascendencia con toda claridad. En la primera semana aparece un saco vitelino, igual que en los peces cartilaginosos y los reptiles (tabla 6, a). Los conductos genitales del embrión humano desembocan primero en la porción final del intestino, lo mismo que sucede entre los reptiles (tabla 8; fig. 2. f). Además, los conductos masculinos son inicialmente, como en los reptiles, idénticos a los uréteres primitivos (tabla 8, c). Por último, también en el embrión humano las glándulas sexuales masculinas se encuentran al principio en la cavidad abdominal y más tarde se desplazan hacia abajo, lo mismo que en la historia evolutiva de los restantes mamíferos (tabla 8, B). De igual modo, el sistema circulatorio de la madre conecta poco a poco con el del embrión (tabla 6), que después del nacimiento debe readaptarse (tabla 2, fig. 3). Todo esto y algunas cosas más indican con toda claridad cuál es nuestro origen, aunque, cierto, sólo a aquellos que se tomen la molestia de interesarse por este tema.

Es una cuestión tan esencial que vamos a insistir en ella. Una prueba decisiva de que no hubo una planificación intencionada es el extraño camino que recorre el óvulo en la mujer (tabla 7, B). Se suelta en la cavidad abdominal (ovulación) y luego una especie de embudo ciliado lo recoge en la trompa uterina. Este proceso es históricamente comprensible pero impensable como resultado de un designio. Hubiese sido mucho

más práctico una comunicación directa entre las glándulas sexuales y la trompa. Igualmente superfluo y poco útil para la mujer es la expulsión periódica de la mucosa uterina, llamada menstruación. Con una planificación dirigida esto se podría haber evitado con facilidad. La aparición del himen podría considerarse, desde el punto de vista de una ética moral religiosa, como deseable. Sin embargo, el hecho es que esta estructura apareció ya entre los primates, y seguramente no existe ningún mono que reproche a su hija la pérdida de la virginidad.

En efecto, todo el dispositivo de la diferenciación de los sexos demuestra con claridad que no nos encontramos ante una planificación consciente, ya que entonces este enorme esfuerzo, que da lugar a la fusión de las células germinales, hubiese sido completamente superfluo. Si una fuerza dirigida hubiese empujado la evolución hacia arriba hasta alcanzar el ser humano, este mecanismo no habría tenido ningún sentido. Lo único que crea es una enorme variabilidad, una mayor cantidad de material sobre el que actuaría la selección, como dice la biología. Si existiese una fuerza que indicase la dirección, la evolución no dependería del engorroso proceso de la selección. La evolución progresiva, o anagénesis, podría haberse producido de un modo mucho más elegante, claro y dirigido. El niño podría haber aparecido sin menstruación e himen, sin la unión sanguínea del embrión. El rodeo del conducto seminal masculino y de los óvulos femeninos a través de la cavidad abdominal no se le habría ocurrido en lo más remoto a un constructor que planificase y dispusiese de todas las células que quisiese.

El tercer momento estelar en el camino evolutivo de los órganos sexuales fue, por tanto, la aparición del pene y de la vagina, hace 340-300 millones de años. Las células sexuales masculinas son llevadas ahora allí donde deben estar, a la vagina, al útero de la compañera. ¿Pero de qué compañera? Esta es la siguiente cuestión. Existía la posibilidad de otra mejora. Si los machos y las hembras aptos se reproducían, esto significaba una ventaja y actuaba en el curso de las generaciones activando la evolución. ¿Cómo puede producirse una selección de este tipo? Primera posibilidad: los machos luchan por las hembras

y los más fuertes y hábiles se imponen. Esto sucede en muchas especies animales. La segunda posibilidad es un mecanismo mucho más sutil.

La existencia de condiciones para un desarrollo de este tipo puede observarse en casi todos los grupos animales. Si para el apareamiento debe reconocerse al congénere y la pareja, es necesario un mecanismo innato de reconocimiento. Los congéneres y los miembros de la pareja se conocen a través de determinadas estructuras externas. Este mecanismo actúa a modo de filtro y sólo permite el paso de determinados estímulos, los estímulos clave, igual que sucede con la presa, que también es reconocida mediante un tipo concreto de éstos. Los estímulos de la pareja se pueden vincular de manera relativamente sencilla con aquellos que indican una especial adecuación: una fuerza especial, órganos especialmente aptos y armónicos y una integración adecuada, es decir, una fuerza y una armonía indicadoras de eficacia. Cuando se forman, sobre todo entre los machos, características particulares que predisponen a las hembras en mayor grado al apareamiento, esto es una indicación clara de que apareció un mecanismo potenciador de la evolución de este tipo. Es evidente que también es posible la aparición de vías erróneas. El propio Darwin observó este fenómeno y lo llamó «selección sexual». Igual que el ser humano al «seleccionar» sus animales domésticos prima a aquellos que reúnen características deseables para él, potenciando su reproducción, de igual modo elige a su pareja según ciertos estímulos clave de manera que la característica en cuestión se ve potenciada más allá de lo que dicta su utilidad. Por este motivo, en el curso de las generaciones, suelen aparecer en los machos formas y colores especialmente llamativos, secreciones aromáticas y llamadas especiales. Hace tiempo que estas formas no incrementan la eficacia del animal, pero evidentemente no son una desventaja: las maravillosas plumas de las colas del pavo real nos muestran la fase final de un desarrollo de este tipo. Ya no son una indicación segura de utilidad sino que constituyen más bien una considerable desventaja para el animal y para su capacidad defensiva frente a los enemigos. A pesar de todo se

mantienen, y la desventaja que representan no adquiere dimensiones críticas.

El sentido de la belleza en el ser humano tiene su raíz, o una de sus raíces, en el mecanismo de la sexualidad masculina y femenina. Inicialmente este sentido sirve para reconocer la idoneidad de la pareja, pero también en el caso del ser humano se produjeron excesos a este respecto. La atracción sexual se refuerza mediante lápices de labios, polvos, sombras de ojos, un peinado bonito y vestidos ostentosos, así como mediante la riqueza, la posesión de joyas caras, automóviles lujosos o regalos deseados. Hermann Hesse en *El lobo estepario* les dio el nombre de «órganos del amor».

Sin embargo, ésta es todavía una parte del camino evolutivo fácilmente comprensible; a ella siguió otra de mucha más difícil comprensión. Se ha determinado en los animales domésticos que sus mecanismos innatos de reconocimiento pierden capacidad de diferenciación, de «selectividad». Al quedar aislados frente a sus enemigos naturales se produce una reducción de su capacidad sensorial. Una cantidad de estímulos superior a la que están sometidas las especies salvajes, desatan en ellos reacciones innatas. También el ser humano se protegió artificialmente contra los peligros naturales, hablándose entonces de una «autodomesticación», que permite explicar cómo el sentido de la belleza, orientado inicialmente hacia la pareja, reacciona en nuestro caso frente a objetos fabricados artificialmente, con los que aumentamos el poder de nuestro cuerpo. Consideramos bellos los vestidos, las armas, las casas e incluso las máquinas cuando poseen una forma determinada, es decir, ciertas características que actúan sobre nosotros. Esto significa que un sentido que en principio estaba dirigido únicamente al cuerpo y su armonía, reacciona, en el curso del posterior desarrollo evolutivo, también ante formas artificiales que aumentan nuestras capacidades y nuestra comodidad. Disfrutamos con la estética de la decoración de las viviendas, los jardines que nos parecen bellos, los cuadros o la música que nos causan placer. El cuarto momento estelar, de gran importancia en el desarrollo

de los dos sexos y sus órganos, es, por consiguiente, la aparición del sentido humano de la belleza. ¿Dónde podemos situar su principio? Entre los peces encontramos, en los machos, y a veces en las hembras, hermosos colores, movimientos vistosos y formas impresionantes. En los insectos observamos un despliegue análogo, así como entre algunos moluscos. En nuestra serie más inmediata de antepasados encontramos estas características entre los anfibios, los reptiles y, en especial, las aves y casi todos los mamíferos. Este sentido de la belleza se hizo consciente y se intensificó en los seres humanos en virtud de su inteligencia, del desarrollo de su poder tecnológico y del tipo de vida que éste ha propiciado. De este modo, el momento estelar de este efecto especial.de la mecánica sexual corresponde al instante en que nos convertimos en seres humanos, es decir, hace aproximadamente 4-2 millones de años. Es precisamente en este período cuando comenzó otra evolución que condujo finalmente al quinto momento estelar del camino evolutivo hacia la aparición de los dos sexos, y que se remonta, como máximo, a hace unos 50 años.

El especial desarrollo de la corteza cerebral condujo en el ser humano a la conciencia de sí mismo y a una enorme capacidad de relación de las causas y los efectos, de obtención de una visión general de la realidad. El desarrollo del niño, sin embargo, tiene una duración inusualmente larga, lo que exige una protección asimismo prolongada. ¿Quién la da? El hombre primitivo vivía como sus inmediatos antepasados primates en hordas, en grupos. Estos grupos protegían al niño, si bien quien en realidad se cuidaba de él era la madre, la única que tenía una fuerte vinculación instintiva con él. La protección del hijo la mantiene atada y reduce en buena medida su capacidad de obtención del alimento, por lo que tuvo mucha importancia que, entre los hombres primitivos, la mujer consiguiese adjudicar al padre de sus hijos la función de protector y proveedor de alimentos, tanto para ella misma como para sus crías. Como se supone hoy, en esa situación se produjo una ampliación de funciones, que tiene un significado muy importante para nosotros.

La sexualidad, que en un principio no estaba más que en función de una mezcla constante de los materiales genéticos, se hizo cargo entonces de una segunda función. El proceso del apareamiento se convirtió como segunda función en un mecanismo de vinculación, la que existe entre el hombre y la mujer. El proceso de apareamiento produce placer, es cómodo y se le busca. De todas formas, conlleva momentos de peligro, una visión más limitada del entorno y una mayor indefensión frente a los depredadores. En última instancia, ésta es, en buena medida, la razón por la que este proceso se limita, en los animales, a un período muy determinado, la época del celo. Algunos animales domésticos, como por ejemplo las gallinas y los cerdos, están en celo durante todo el año a consecuencia de la domesticación. El ser humano también está sexualmente dispuesto durante más tiempo del que se requiere para la función de mezcla de los materiales genéticos, en el sentido de que se desarrolló otra función que, a lo largo de 2 millones de años, tuvo una importancia considerable, porque logró juntar al hombre con la mujer, a ésta con aquél. Los miembros de la pareja se convirtieron en mutuo objeto de placer, objeto deseado en la búsqueda consciente de la felicidad. Esto está explicado de modo un tanto prosaico, pero muestra con claridad cuáles pueden ser las raíces evolutivas de nuestra sexualidad exagerada. Con la tecnificación y el correspondiente cambio de las formas sociales, esta función de vinculación perdió efectividad. El sexo es hoy motivo tanto para que el hombre abandone a su mujer como para que permanezca a su lado.

La doble función de la sexualidad entre los seres humanos, la excesiva sexualidad que resulta de ella, no tuvo inicialmente ningún efecto negativo. Más hijos, más descendientes, suponían siempre una ventaja en el camino de la evolución, una ventaja selectiva frente a los competidores. Sólo en los últimos tiempos se ha cuestionado este valor. Surgieron los problemas que creaba una excesiva multiplicación. La mortalidad infantil se fue reduciendo y la esperanza media de vida del ser humano ha aumentado como consecuencia de los progresos de la medi-

cina. La segunda función de la sexualidad, que sitúa la búsqueda consciente del placer en primer término, se transformó asimismo en un problema. Lo que antiguamente tenía consecuencias muy naturales e inocuas, se convierte de pronto en el problema número uno de la supervivencia. Hay demasiados seres humanos. Esta problemática, que de pronto se ha vuelto crítica, sólo puede solucionarse con medios técnicos auxiliares para la prevención del embarazo: preservativos, espirales y píldoras, o mediante comportamientos sexuales adecuados: el mantenimiento de las relaciones sexuales únicamente en los días no fértiles, o bien mediante la esterilización del hombre. El desarrollo de estos medios es el quinto momento estelar en este camino tortuoso. Si bien existen, desde hace miles de años, métodos para evitar el embarazo, el desarrollo dirigido de medios artificiales para este propósito se inició, a gran escala, hace aproximadamente 50 años.

Con esto hemos finalizado un capítulo peliagudo de este libro. Considerando su dificultad vamos a repetir el hilo de ideas seguido. Primero: la reproducción y la bisexualidad no guardan ninguna relación y sirven a dos funciones completamente distintas, la reproducción para la creación de descendientes de la misma especie, y la sexualidad para la mezcla de los materiales genéticos, la obtención de una mayor cantidad de material sobre el que actúe la selección, de una reserva genética, como se dice en biología. El primer problema, desde que comenzó la vida hasta llegar a todos los seres actualmente vivos, lo plantea el modo cómo debe realizarse una fusión de este tipo. ¿Qué órganos suplementarios y nuevas formas de comportamiento necesitan para ello los organismos unicelulares y, en especial, los pluricelulares? Segundo: esta evolución conduce automáticamente a la división del trabajo, a la aparición de machos y hembras. Estas se hacen cargo de la función reproductora, mientras que los primeros se encargan de la función de apareamiento y, en muchas especies, de la protección y alimentación de la prole. Tercero: en tierra firme se precisan órganos que permitan la transferencia directa del esperma al interior del

cuerpo de la hembra. Cuarto: el grado de efectividad de la mezcla de materiales genéticos aumenta cuando consiguen unirse los que son más capaces y aptos. Esto exige el desarrollo de un sentido para que las parejas escojan los compañeros de mayor valor evolutivo. En el caso del ser humano, apareció un sentido como éste que, junto a efectos secundarios negativos, tuvo consecuencias culturales muy importantes. El ser humano traslada los criterios del compañero sexual, de sus órganos y de su combinación a la gran cantidad de herramientas artificiales con las que aumenta las capacidades de su cuerpo. Intenta asimismo organizar de forma estética un entorno artificial, hasta el detalle cuando puede permitírselo. Quinto y último: la sexualidad, y los estados de excitación placenteros que produce, adquieren entre los hombres primitivos un significado adicional. Se convierten en segunda función, en un elemento de vinculación entre el hombre y la mujer. Consecuencia: el ser humano tiene una actividad sexual mucho mayor de la que este proceso, en principio, requiere. Nacen más niños, lo que en principio no es ninguna desventaja, ya que muchos descendientes suponían siempre una ventaja frente a los competidores. Debido al desarrollo de la técnica y de la medicina, el aumento de los nacimientos y la simultánea reducción de la mortalidad infantil se convierten en un problema grave. La prevención del embarazo se transforma entonces en una cuestión de actualidad. La explosión de la natalidad es una amenaza de tal envergadura que puede dar lugar a la autoaniquilación de la humanidad. Por tanto, último momento estelar: el desacoplamiento de las dos funciones de la sexualidad. Obtención de placer mediante la sexualidad pero sin consecuencias, y con ello limitación de los descendientes: planificación familiar.

VII. NUESTRO TUBO DIGESTIVO

Para el biólogo, el tubo digestivo comienza en la abertura bucal y acaba en el ano. Consideraremos el sistema digestivo humano, también nosotros, bajo esta perspectiva. Así pues, incluye la cavidad bucal, el esófago, el estómago y el intestino. La palabra «intestino» tiene, por lo general, una connotación desagradable. Sus productos de desecho, las heces, hace que nos repela. El intestino de los animales utilizado como tripa para embutidos, sin embargo, se nos presenta bajo otra imagen. Nos encontramos así otra vez ante un ejemplo de que nuestro yo no es objetivo y que nuestra voluntad no es del todo libre. La repulsión o el asco ante las heces es para nosotros innata, lo mismo que para muchos otros animales. Nuestro organismo no puede emplearlas como alimento sino todo lo contrario, puesto que contienen sustancias tóxicas y, en ocasiones, también parásitos. Por ello, el olor de las heces animales nos indica «peligro». El hecho de que los niños no muestran esta reacción se debe a que algunos mecanismos innatos, al igual que algunos órganos, maduran poco a poco y, por lo tanto, no son totalmente funcionales desde el momento del nacimiento. En los seres humanos adultos, este aviso se produce en el cerebro de manera automática y desencadena en nosotros una reacción de rechazo. Algunos animales muestran también la reacción contraria, como sucede en el caso de los carroñeros y los coprófagos. Les atrae el olor a descomposición que a nosotros nos repele y lo mismo que a nosotros nos atraen los dulces, a ellos les atraen las sustancias en putrefacción.

En la introducción de este libro se planteó la cuestión de por cuál de nuestros órganos debíamos iniciar el relato, de si existía alguna prioridad. La respuesta fue: en nuestro cuerpo todos ellos son útiles. Algunos son menos vulnerables o más fácilmente sustituibles que otros, pero, en el fondo, todos son necesarios para el desarrollo de nuestra capacidad normal vital.

Nuestro corazón, nuestro cerebro o nuestros ojos, todos ellos tienen sentido dentro del sistema de distribución del trabajo que denominamos cuerpo y, sin embargo, existe una prioridad que debemos señalar: el sistema digestivo lo necesitamos incluso más que las manos, el corazón, el cerebro, los ojos o los oídos, ya que su actividad suministra energía a nuestro cuerpo, mientras que los restantes órganos la consumen. Sin energía no hay movimiento, no hay procesos químicos, no se produce crecimiento, no hay desarrollo, mantenimiento ni reproducción, no hay nada. Desde el primer instante, el proceso de la vida, que se verifica en todas las plantas, los animales y también en nosotros, fue posible en la práctica únicamente porque se obtuvo energía de ciertas fuentes. Por supuesto, para ello se necesitó materia. Sin embargo, su obtención cuesta, consume y degrada energía. Por lo tanto, la energía es el requisito para todo lo demás, *conditio sine qua non* para la vida. En este sentido, los órganos para la obtención de energía son prioritarios. Desde este punto de vista, nuestro tubo digestivo no es repugnante sino todo lo contrario, es un centro funcional de nuestro cuerpo, un órgano de importancia capital. A pesar de que su contenido apeste, nos parezca poco apetitoso y nos dé asco. El retrete es un dispositivo del que es mejor no hablar, su utilización es un asunto repulsivo, aunque necesario, que el hombre civilizado ignora de manera deliberada. El gran naturalista francés Cuvier llamó ya a los animales «seres intestinados». Vio en ellos, y por lo tanto también en el cuerpo humano, una organización cuyo centro era el tubo digestivo. En la gran familia de nuestros órganos que denominamos cuerpo, y sobre la que se construye este «yo» que en última instancia resulta cuestionable, este tubo digestivo tiene prioridad. Suministra lo que todos los demás necesitan para su síntesis, mantenimiento, actividad y todo tipo de reparaciones: la energía, la capacidad de realizar trabajo es una condición necesaria para todos los demás órganos, y precisamente es el tubo digestivo al que tan poco valoramos el que nos la proporciona.

Retrocedamos al pasado de nuestros antepasados más lejanos, a los grupos de moléculas mediante los cuales, hace aproximadamente 4.000 millones de años, se inició el proceso de la vida. Éstas obtenían al principio la energía como un regalo. En el caldo primigenio de los cálidos océanos de aquella época remota, las sustancias que recogían eran muy ricas en energía gracias a las erupciones volcánicas y las descargas eléctricas. Sólo cuando esta energía, tan abundante al principio, comenzó a escasear, el flujo de la vida necesitó de otros intermediarios. Aparecieron entonces las plantas, que capturan la energía de la luz solar y la vuelven utilizable. Con la ayuda de la energía de estos rayos se forman, a partir del agua y de las sales y moléculas de dióxido de carbono que lleva disueltas, moléculas en cuyas estructuras la energía de los rayos luminosos queda cautiva como en pequeñas jaulas. Este proceso lo llamamos *fotosíntesis.* En su transcurso la energía de los rayos se transforma en energía en forma de enlaces químicos. Las primeras sustancias son los *hidratos de carbono,* que son, en primer lugar, una «fuerza». Esto es sólo uno de los aspectos de la actividad de las plantas. Otro surge de modo totalmente inverso. Para sintetizar estructuras orgánicas, proteínas y ácidos nucleicos, la planta abre las jaulas creadas, libera la energía que contienen y la obliga a formar otras moléculas nuevas. La energía también queda cautiva en ellas, si bien se la puede liberar por medio de la destrucción de las moléculas.

El científico denomina a la síntesis de sustancias orgánicas *asimilación* y a la desintegración, *disimilación.* De acuerdo con la opinión general, las plantas y los animales nos parecen completamente distintos, aunque en realidad están estrechamente emparentados. Todos los seres vivos que llamamos animales son, en último término, plantas que pasaron a una actividad parasitaria, depredadora. También ellos llevan a cabo disimilación, también obtienen energía abriendo esas jaulas, sólo que, a diferencia de las plantas, no las han construido ellos mismos. Cuando un animal se come una planta, destruye sus moléculas igual que la planta hace con el almidón que ha sintetizado. Por consiguiente, todos los animales son depredadores y dado que

la estructura orgánica que han sintetizado contiene también energía cautiva, son asimismo una posible fuente de energía para otros depredadores. Lo que llamamos en los animales «toma del alimento» es la apropiación violenta de moléculas que pueden ser disimiladas. En el caso de los animales este proceso se denomina *digestión*. La característica de las plantas, por consiguiente, consiste en que, con ayuda de materia inorgánica aprisionan la energía solar en el interior de moléculas de hidratos de carbono. Los animales no necesitan hacer esto, lo único que tienen que hacer es abrir jaulas ya existentes, o dicho de un modo más normal, «comer» materia orgánica y «digerirla». En último término, todo acontecimiento vital es una lucha por la energía. Las plantas que se ocupan de la fotosíntesis la obtienen de la luz solar y a partir de ella inicia su camino de molécula a molécula, de un cuerpo al siguiente, hasta que se consume poco a poco, hasta que se agota su capacidad de realizar trabajo.

Las moléculas de ATP son excelentes almacenes de energía situados en el interior de las células y que pueden cargarse y descargarse igual que las baterías eléctricas. Otros almacenes de energía son las moléculas de azúcar y de lípidos. Cuando las fanerógamas, como ya hemos señalado con anterioridad, convierten a los insectos y a otros animales en órganos de transporte de sus células germinales y semillas, les «recompensan» con el azúcar contenido en el néctar de sus flores y en la pulpa dulce de sus frutos, es decir, pagan con portadores de energía utilizables. Por consiguiente, a las plantas y a los animales les es posible dejar, además, que estas fuerzas de la naturaleza trabajen para ellos. La energía cinética del agua y del viento la utilizan muchas especies para el transporte y la obtención de alimentos. El ser humano, mediante su inteligencia y con ayuda de máquinas, logró transformar la energía almacenada con el petróleo en sirviente suyo, lo mismo que hace con la fuerza de atracción de la Tierra con la que acciona las turbinas de las presas de gravedad y transforma así la energía cinética en energía eléctrica fácilmente transportable. En la actualidad podemos li-

berar incluso las inmensas fuerzas de la energía nuclear y servirnos de ellas. El cuerpo humano, que logra todo esto mediante su potencia intelectual, sigue funcionando gracias a la destrucción de moléculas. Comamos patatas o carne, en casa, en el restaurante o en una cena lujosa, lo que sucede es siempre lo mismo. Robamos a las plantas lo que han almacenado y a los animales lo que ellos han robado, robamos energía y sustancias. Esta forma de adquisición, que compartimos con todos los animales, se inició, no sabemos exactamente cuándo, hace 3.000-2.500 millones de años. Fue el primer momento estelar en el camino de la evolución hacia nuestro tubo digestivo. Por esa época aparecieron aquellos de nuestros antepasados que abandonaron la pacífica vida vegetal, asaltaron a sus compañeros, «disimilaron» su materia y se transformaron en parásitos y depredadores, los animales.

El primer proceso de esta depredación, de esta destrucción de moléculas, de esta «degradación», vamos a dejarlo a un lado. Recibe el nombre de *fermentación*. Todas las bacterias de la putrefacción siguen especializadas en dicha tarea. La cantidad de energía obtenida es dieciocho veces menor que la desarrollada en el curso de la *oxidación*, una combustión real con ayuda de oxígeno. En la atmósfera primitiva existía un déficit de oxígeno. Sólo gracias a la actividad de las plantas autotróficas, que capturan energía solar, se liberó oxígeno. Hace unos 3.000 millones de años se formó, poco a poco, alrededor de nuestro planeta una atmósfera que contenía oxígeno. El hecho paradójico es que la actividad de las plantas asimiladoras creó la condición necesaria para que se produjera la forma de adquisición de los llamados animales. Para adquirir energía mediante combustión se necesita oxígeno. Las plantas lo producen y liberan durante el proceso de la fotosíntesis, mientras que los animales lo inhalan. Se trate de gusanos e insectos, pólipos coralinos, anfioxos, cocodrilos o seres humanos, todos emplean energía que han capturado las plantas y lo hacen con la ayuda del oxígeno que debemos asimismo a su actividad. La apropiación de moléculas orgánicas no creadas por nosotros y su des-

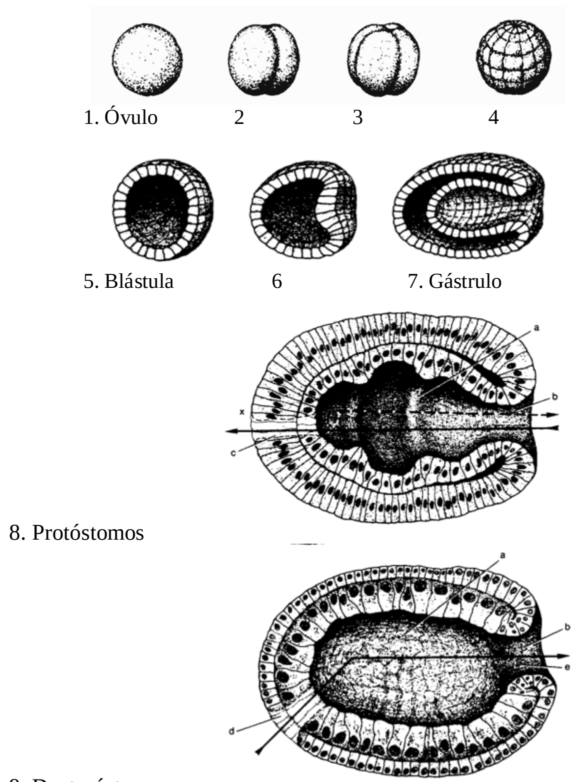
trucción con ayuda del oxígeno es nuestra tarea. Evidentemente lo que hagamos con la energía obtenida por depredación es un asunto totalmente personal. En esto nos diferenciamos de nuestros compañeros los animales.

TABLA 9. Demostración de nuestro parentesco con las estrellas de mar, los crustáceos y los pólipos coralinos

Figuras: **1** óvulo, **2-4** primeras segmentaciones hasta la fase de *blástula,* **5** corte a través de la blástula, **6** y **7** invaginación de la blástula *(gastrulación),* **8** *aparición del ano en los prostóstomos,* **9** aparición de la boca secundaria en los *deuteróstomos.* a = gastrocelo, b = gastroporo, c = ano, d = boca secundaria, e = ano secundario, x se explica en el texto. Las flechas señalan la dirección de la corriente nutritiva. La flecha discontinua indica la vía primitiva de excreción.

La creencia durante miles de años de que el hombre es una creación distinta a los animales queda rebatida con toda claridad en los primeros estadios del desarrollo de todos los metazoos y del ser humano. Todos surgen a partir de una única célula: el *óvulo* (1). Éste se divide primero en dos, después en cuatro células y a continuación en 8, 16, 32, etc. Aparece así una esfera hueca, la *blástula* (4). Incluso este sencillo estadio de desarrollo, al que los primeros organismos pluricelulares llegaron hace unos 1.800 millones de años, demostró ser viable y, a pesar de la creciente competencia, consiguió llegar hasta la actualidad (un ejemplo son los protozoos del género *Volvox,* que viven en aguas dulces). Tal como nos muestra el desarrollo embrionario de los animales superiores, por sucesivas segmentaciones de las colonias celulares, se produjo una invaginación de la blástula (6, 7). Apareció así una cavidad abierta hacia el exterior; el *gastrocelo* (a), con una abertura, el *gastroporo* (b). La mayoría de los celentéreos actuales (pólipos y medusas) nos muestran que también este nivel de organización tan sencillo es viable. En el caso de los pólipos (los coralinos son los más corrientes), la colonia celular se fija por el polo opuesto al gastroporo (8, x) a un sustrato y forma alrededor de este gastroporo (b) tentáculos móviles con los que dirige las pequeñas presas que captura al interior del gastrocelo, cuyas células las digieren. Los residuos se expulsan a través del gastroporo (flecha en línea discontinua). Las primeras fases embrionarias de los animales superiores nos indican asimismo el camino que siguió la posterior evolución. Por dos vías distintas se llegó a la formación de un canal digestivo continuo con un ano. En uno de los grupos, el gastroporo siguió siendo la abertura bucal convirtiéndose un segundo orificio en ano (8, c) y a estos animales se les llama *protóstomos.* En otros (9), se produjo un cambio de polaridad de las vías alimentarias (flecha). El orificio nuevo (d) se convirtió en boca y el gastroporo (b) original fue

el ano (e); a este grupo se les llama *deuteróstomos*. Los descendientes de estos últimos son los equinodermos actuales (estrellas y erizos de mar, holoturias, etc.) así como todos los vertebrados, incluido el hombre (tabla 5). En todos ellos, el desarrollo embrionario sigue mostrando el cambio de posición de la boca acaecido hace unos 1.200 millones de años. Los descendientes de los protóstomos (8) son todos restantes metazoos: gusanos, moluscos, crustáceos, insectos, arácnidos (tabla 5). Así, el desarrollo del embrión humano demuestra que el hombre está emparentado tanto con los equinodermos como con los crustáceos y los pólipos coralinos, estando situado algo más cerca de los primeros.



1. Óvulo 2 3 4

5. Blástula 6 7. Gástrulo

8. Protóstomos

9. Deutoróstomos

Sin embargo, no es éste el tema del presente capítulo. Lo que nos interesa es la forma de obtención y sus órganos. Ya

entre los organismos unicelulares se separaron, como indicamos antes, los animales de las plantas. Los organismos unicelulares vegetales disponen de órganos que les permiten llevar a cabo la captura de energía luminosa: los *plastidios*. Otros órganos de su diminuto cuerpo son las *mitocondrias*, con las que disimilan, y los *ribosomas*, con los que sintetizan las proteínas de su propio cuerpo (tabla 20). Los organismos pluricelulares animales están dotados de los mismos órganos, aunque carecen de plastidios y con las mitocondrias no destruyen moléculas sintetizadas por ellos mismos sino depredadas. No es de extrañar por ello que, incluso en la actualidad, algunos organismos unicelulares sean al mismo tiempo vegetales y animales. Un ejemplo de esto es *Euglena viridis*, que se encuentra a menudo en las charcas y pantanos. Mientras puede capturar rayos solares lo hace. Si se le impide esta actividad, situándolo en la oscuridad, transforma sus órganos captores de luz, los plastidios, y se convierte en un animal. Con su flagelo nada en el agua y toma las proteínas que hay disueltas en ella, los restos de seres descompuestos, y las incorpora a su cuerpo, las digiere, disgrega sus moléculas en las mitocondrias y de este modo libera la energía que contienen...

Cuando hace 1.900-1.700 millones de años los organismos unicelulares formaron las primeras colonias, iniciándose de este modo la evolución de los pluricelulares, se reformó la separación entre plantas y animales. Entre las plantas pluricelulares aparecieron tejidos laminares en los que los plastidios quedaban expuestos a la luz, estructuras a las que damos el nombre de *hojas*. Estas se sujetan al tallo, también pluricelular, que se fija al suelo mediante las raíces asimismo pluricelulares. Durante la conquista de la tierra firme, cuando de pronto desapareció el agua circulante, las raíces se convirtieron, además, en órganos de obtención del agua a partir del suelo.

Entre los animales pluricelulares la forma básica del cuerpo se explica también en función del modo de obtener la energía. La dependencia de la depredación condujo asimismo a la formación de órganos auxiliares pluricelulares. Lo más importante para ellos era disponer de un orificio bucal para atrapar la

presa e introducirla en su cuerpo, así como de órganos sensoriales para localizar dicha presa en el entorno y órganos motores para llevar el cuerpo y la boca hasta esta presa. El tubo digestivo se convirtió en órgano auxiliar de la digestión. Este órgano desintegra el alimento hasta tal extremo que las diversas células de la colonia pueden adueñarse de él a través de la membrana celular. Por consiguiente, no se encarga de la destrucción de las moléculas sino que este proceso tiene lugar en el interior de cada una de las células. La síntesis de las proteínas tampoco se encomendó a un órgano pluricelular, sino que, de igual modo que sucede en todas las plantas, se encargan de ella los ribosomas. Por último, cada una de las células animales crea sus propias «baterías» de ATP (que las mitocondrias cargan) que transportan la energía hasta todos los puntos de la célula en los que se la necesita (tabla 20).

Si contemplamos con frialdad esta situación, estamos ante un fallo de construcción de enormes dimensiones. Imaginemos una fábrica en la que, situados muy próximos, se encuentran 60.000 millones de talleres idénticos. Ésta es la forma que tiene nuestro cuerpo. Cada célula dispone de su propia central de instrucciones, el material genético, de sus propios destructores de moléculas, de sus propios órganos para la síntesis de proteínas y de sus propias baterías de transporte. Incluso éstas se encuentran íntimamente ligadas a la célula y no pueden cambiar de una a otra. En el cuerpo pluricelular, incluido el nuestro, no existe un sistema de distribución del ATP ni un órgano central para la fabricación de dichas baterías. Seguimos admirando en exceso nuestras células y su capacidad. De hecho son muy perfectas. El cuerpo pluricelular, por el contrario, no lo es y continuamos preguntándonos por qué se produjo una acumulación de funciones. ¿Por qué miles de millones de órganos destructores de moléculas en lugar de una única unidad grande especializada en esta tarea? ¿Por qué miles de millones de órganos de síntesis de moléculas, y de una cantidad aún mayor de baterías de transporte, que no pueden abastecer tan siquiera a las que tienen más cercanas? Si insistimos en la idea de un creador que actúa siguiendo una meta, esta gigantesca multiplicidad de

vías resulta difícil de comprender. Sin embargo, desde el punto de vista del desarrollo evolutivo se puede explicar fácilmente. Mediante mutación, fusión sexual de material genético y selección, fue posible que algunas funciones se unieran constituyendo un gran taller pluricelular, por ejemplo, como en el caso del sistema nervioso, del que hablaremos en el capítulo siguiente. Para otros, por el contrario, no fue posible alcanzarlo mediante estos mecanismos. Sea ventajoso o no, las tres funciones principales, obtención de energía, síntesis de las estructuras y reproducción, continuaron siendo para todos los organismos pluricelulares, las plantas, los animales y los seres humanos, competencia de la célula.

Y hay más. Podemos llegar a preguntarnos en qué medida el cuerpo completo de los organismos pluricelulares, saltamontes, abeto o ser humano, no es simplemente un órgano auxiliar de la célula aislada. Hay que tener en cuenta que los organismos unicelulares superaron muchos peligros y que la posibilidad de su vida individual y su multiplicación era pequeña. En la unión pluricelular las posibilidades han aumentado de manera significativa, igual que las de supervivencia del ser humano aislado dentro de un estado organizado. De igual modo a como éste protege al individuo y le brinda gran cantidad de posibilidades, sucede en el cuerpo pluricelular. Ya sea la célula del músculo, del sistema digestivo o nervioso, está mucho mejor protegida que una célula aislada. En un conjunto grande su vida es por término medio mucho más larga y se encuentra más protegida contra los peligros. Para las tareas especiales que llevan a cabo, igual que en la actividad laboral, están protegidas y se las mantiene. La sociedad puede de este modo vivir durante un tiempo más largo y se reproduce mejor.

Pero volvamos al tema. Regresemos al denostado tubo digestivo, el órgano auxiliar central de la obtención de energía y materia en todos los animales pluricelulares. En nuestra serie de antecesores apareció hace 1.800-1.600 millones de años en los *celentéreos*. Éste fue el segundo momento estelar en el camino evolutivo de nuestros órganos hacia la obtención de energía. Los descendientes de estos primeros antepasados, que hoy

siguen mostrando la estructura corporal que presentaban en aquella época, es decir, que son fósiles vivientes, son los pólipos coralinos y sus parientes dulceacuícolas, que tanto éxito han alcanzado. Estos animales no son más que un tubo fijo al suelo y cuyo extremo superior está dotado de tentáculos. El desarrollo embrionario de los anfibios muestra hoy este estado originario. Mucho antes de que aparezca lo que denominamos embrión, a partir de la célula germinal se forma primero una esfera hueca que se invagina (tabla 9). En biología se la llama *gástrula.* No se desarrollan los tentáculos sino que tiene lugar el extraño cambio de posición entre la boca y el ano, del que ya hemos hablado con anterioridad. En una de las líneas evolutivas, la boca inicial de los celentéreos se transformó en la boca definitiva, en la de los moluscos, los crustáceos, los arácnidos y los insectos. En la otra, se convirtió en el ano, como en el caso de los equinodermos, enteropneustas y todos los vertebrados. En el anfioxo, que es más que un gusano pero menos que un pez y que pertenece por muchas de sus características a la familia más próxima de nuestros inmediatos antepasados, el sistema digestivo es todavía un tubo continuo (tabla 10). Se inicia con una abertura bucal rodeada de papilas, continúa con un intestino dotado de hendiduras branquiales y células ciliadas y desemboca en un ano que, en el embrión de este animal, todavía actúa como boca. Las células intestinales segregan todo tipo de sustancias y secreciones llamadas enzimas que ayudan a la completa destrucción de lo ingerido a través de la boca. En esta fase se ha formado ya otro órgano pluricelular auxiliar de la digestión, el ciego, que vacía sus secreciones en el intestino. Es un predecesor del órgano que realiza una importante función química muy diferenciada y que denominamos en los peces y sus sucesores el hígado En la evolución paralela que aquellos parientes que conservaron la boca, los protóstomos, no aparecieron estos órganos. Lo que allí se suele denominar «hígado» es un intestino medio muy ramificado que no sólo digiere sino que también recoge y transporta sustancias alimenticias. Por el contrario, en ambas líneas evolutivas se produce una división del trabajo comparable al trabajo en cadena de las

instalaciones industriales. Según el tipo de alimento, se necesitan unas determinadas materias, o unos determinados dispositivos para destruirlas, dividir sus elementos moleculares y hacerlos solubles en agua, de tal modo que puedan atravesar la membrana celular y llegar hasta las células intestinales, a través de las cuales llegan a las células vecinas, al líquido corporal o al distribuidor organizado de alimentos, el sistema circulatorio.

El tercer momento estelar, hace 480-440 millones de años, es la aparición de nuestro estómago. Se produjo la diferenciación de nuestro tubo digestivo en una serie de segmentos altamente especializados: la cavidad bucal, el esófago, el estómago, el intestino delgado y el intestino grueso. En cada uno de estos lugares, al igual que en una cadena de montaje, se llevan a cabo operaciones especializadas. Paso a paso el alimento es desmenuzado, desdoblado, separado en elementos hidrosolubles que son absorbidos en otros segmentos especializados, mientras que lo inservible continúa su marcha y es expulsado, finalmente, a través del ano. En la cavidad bucal se tritura inicialmente el alimento con los dientes, la lengua y el paladar, y diversas glándulas (salivares, linguales) inician una digestión previa. El alimento llega entonces, cruzándose de manera poco práctica y problemática con las vías respiratorias, de lo que hablaremos más tarde, al esófago, que no tiene otra misión que la de conducirlo al estómago, una vez ha sido preparado para ello. El estómago tiene dos funciones. En primer lugar, es un depósito de comida. Hay que aprovechar las ocasiones de obtenerla aun cuando no se la pueda digerir en ese mismo instante. Algunos de nuestros parientes reptiles, como por ejemplo las serpientes, pueden engullir animales que son más grandes que ellas, nutriéndose luego de esas presas por espacio de varios meses. La sanguijuela puede ingerir cinco veces su propio peso en sangre, con lo que tiene cubiertas después sus necesidades alimenticias durante nueve meses. La segunda tarea del estómago es una reacción química a gran escala, ya que debe desmenuzar todo el alimento que todavía no ha sido licuado. Numerosas glándulas situadas en la pared gástrica vierten sus productos sobre el alimento, productos entre los que se cuentan el

ácido clorhídrico, que mata las bacterias que puede haber en el alimento. Surge entonces el problema de cómo evitar que el ácido se coma la propia pared del estómago. En los mamíferos, y por lo tanto en nosotros mismos, la mucosa gástrica es la encargada de esta función. Segrega, envueltas en *mucus,* sustancias protectoras. Por esa razón, durante las operaciones de estómago se elimina parte de la zona en la que se encuentran las glándulas, ya que, en caso contrario, la operación resultaría un éxito pero el propio estómago se autodigeriría.

Si echamos una mirada a nuestros parientes animales más lejanos o más próximos, observamos que sus estómagos adquirieron diversas formas, según su tipo de alimentación. Entre las aves y los cocodrilos, que con sus herramientas bucales son capaces de sujetar y arrancar pero no de desmenuzar, encontramos estómagos masticadores en cuyo interior suele haber piedrecitas que muelen la comida. En este caso, algunos componentes, como son las piedras, no son una formación del propio cuerpo sino que proceden del exterior. Consideramos, en sentido estricto, que se transforman en estructuras útiles para la vida y que desempeñan una función similar a la de los dientes de quitina en el estómago de los insectos. Las estrellas de mar se colocan sobre los moluscos, fijándose sobre su concha y forzándola mediante tracción uniforme hasta que se abra. Entonces evaginan el intestino y digieren el cuerpo del molusco. También los gasterópodos depredadores lo hacen, perforando la concha de los moluscos y secretando sustancias tóxicas y digestivas, absorbiendo después el alimento líquido resultante. Transforman de este modo la concha del molusco en una olla a su servicio. Las arañas hacen otro tanto. Los insectos que cazan tienen, como todos los artrópodos, un esqueleto externo duro. La araña inyecta veneno y jugos gástricos en el interior de su cuerpo y absorbe más tarde su contenido.

El avance del alimento a través del tubo digestivo se produce de igual modo que la sangre a lo largo de las venas que conducen al corazón, es decir, mediante contracciones rítmicas de los vasos. Impulsos nerviosos activan de tal manera los músculos, que éstos se contraen como olas avanzando, lo que

se denomina movimiento *peristáltico.* Si estamos en el retrete y nos esforzamos por expulsar el contenido de nuestro intestino, nuestra voluntad sólo consigue un efecto limitado de esa compresión. Debemos esperar a que el intestino quiera, a que tenga movimientos peristálticos. Estos movimientos coordinados se producen en miles de canales sin que lo sepamos o lo sospechemos, y muy lejos de las preocupaciones inmediatas de nuestro yo. En el paso entre el estómago y el intestino cerrado hay un músculo oclusor anular, el píloro. La papilla que ha elaborado el estómago pasa entonces de manera automática al intestino delgado, en primer lugar al duodeno, en el que, entre otras, desembocan dos glándulas digestivas muy potentes: el hígado, cuya bilis descompone la grasa en pequeñas gotitas, y el páncreas, que segrega sustancias que desdoblan las proteínas y los lípidos. En las otras porciones del intestino delgado desembocan otras glándulas, continuándose paso a paso el camino de disgregación del alimento. Algunos materiales tales como agua, sales, vitaminas o elementos vestigiales, pasan a través de las paredes intestinales a la circulación sanguínea, lo mismo que el alcohol, motivo por el cual actúa con tanta rapidez. Sin embargo, la mayor parte de ellos deben ser disgregados en los procesos correspondientes y son «reabsorbidos» en el intestino delgado, cuya superficie es muy grande debido a la presencia de vellosidades. El sistema linfático se transformó en los mamíferos, y también en nuestro caso, en un órgano auxiliar de la absorción de las grasas. En realidad, es un órgano auxiliar de la evacuación, el drenaje y la desinfección, que se pone aquí al servicio de la alimentación y conduce las grasas, desdobladas en sus componentes moleculares, hasta la corriente sanguínea. Llegamos entonces a un ciego, del que hablaremos inmediatamente, y a otra puerta, cuyo nombre es el de *válvula de Bauhin* o *ileocecal.* Hasta este momento el alimento ha sido desmenuzado y diluido para volverse soluble en agua y poder acceder así, a través de la membrana celular, a las células, así como para ser transportado por el líquido sanguíneo. Para esto es necesaria el agua, que en las regiones áridas es, por lo general, un bien escaso. En consecuencia, la última

porción del intestino sirve, en todos los animales terrestres superiores, para la recuperación del agua. Lo que no se ha podido aprovechar se condensa sin contemplaciones. Mientras que el ácido clorhídrico del estómago actúa a modo de desinfectante, en este último tramo del intestino se deja terreno libre a las bacterias de la putrefacción, que mediante fermentación consiguen que alguna porción de esos desechos resulte todavía digerible y la pared del intestino grueso la absorba. Llegamos entonces a un músculo anular doble, de los cuales el externo está sometido a nuestra voluntad mientras que el interno no. Ambos juntos constituyen el esfínter anal, el ano. Cuando estamos en el retrete, con el músculo externo podemos reforzar el proceso de evacuación, aunque no con el interno o con los músculos intestinales, y es necesario que esperemos a que los movimientos peristálticos actúen.

El tercer momento estelar, hace 480-440 millones de años, es, por consiguiente, el inicio de la diferenciación del tubo digestivo, la aparición de segmentos cada vez más especializados que elaboran con creciente eficacia el alimento ingerido. Durante este proceso, y esto es importante, se obtiene calor, aunque no energía que el cuerpo pueda transformar en trabajo. Con un alimento de difícil digestión incluso se puede emplear más energía que la que se obtiene. Algunas de las dietas actuales que logran que se baje de peso comiendo en exceso se basan en este hecho. El tubo digestivo es, como hemos dicho, un órgano auxiliar pluricelular y un intermediario. Las auténticas instalaciones de desintegración que reportan energía, comparables en cierto modo a un reactor nuclear, se encuentran en el interior de las células y no las han abandonado nunca. En mayor medida de lo que el «yo» del ser humano cree, éste está compuesto por muchos otros yos de los que no sabe nada. Un pensamiento poco agradable seguramente, si bien es un hecho indiscutible al que hemos de acostumbrarnos si aspiramos no sólo a vivir al día sino también a vernos como lo que somos en realidad.

El cuarto momento estelar es negativo para nosotros. Detrás de la válvula de Bauhin se encuentra un saco ciego que merece

que le dediquemos especial atención. En buena medida, dicho interés se debe a que este apéndice vermiforme ha provocado muchas muertes y que es un órgano que, aunque producido por el propio cuerpo, es perjudicial para la persona. Es el llamado *apéndice o intestino ciego*, pincelada desafortunada del creador, si creemos en una génesis deseada y dirigida del ser humano. La historia de este curioso órgano se remonta a épocas muy lejanas, a comienzos de nuestro pasado filogenético, y concretamente al momento en que se planteó la necesidad de digerir los vegetales ingeridos. A diferencia de las células que constituyen el cuerpo de los animales, rodeadas sólo de una delgada membrana, las vegetales llevan además una cubierta muy resistente de celulosa. En las plantas interesa más la estabilidad que la movilidad, pues no deben ir detrás del sol sino simplemente crecer en dirección a él, razón por la cual las células son elementos más rígidos. Esto adquiere una especial importancia en tierra firme, donde tanto los tallos como los troncos deben luchar contra la fuerza de la gravedad con el fin de llevar sus hojas a mayor altura que las de sus competidores y acercarlas más a la luz, la fuente de energía que es el alimento más importante. Así, al consumir productos vegetales surge el problema: ¿cómo pueden digerirse y aprovecharse estas paredes celulares, cómo se puede acceder a su contenido? En épocas muy tempranas las bacterias y los organismos unicelulares más desarrollados se especializaron en esta función, y de ella se aprovechan los organismos pluricelulares que se alimentan de plantas. En lugar de crear glándulas que realizaran la misma función, llegan al mismo objetivo a través de las unidades ya existentes. Del mismo modo que las aves y los cocodrilos tragan piedras para aprovecharlas como elementos auxiliares de la digestión e igual que la araña transforma el caparazón del insecto capturado en una especie de olla, muchos animales fitófagos lograron sacar provecho de la capacidad de degradación de la celulosa que muestran los organismos unicelulares y las bacterias especializadas. Estos organismos trabajan por medio de fermentaciones, recuperando sólo una pequeña parte de

la energía contenida en su alimento. Se les emplea como un martinete.

Se les deja realizar su función y alimentarse: lo que queda contiene suficiente energía e incluso a veces más. Por consiguiente, muchos animales han desarrollado en su tubo digestivo divertículos en los que no sólo se tolera la presencia de estos organismos sino que se favorece su actividad. Esto llega hasta el punto que numerosos insectos han creado dispositivos especiales para transmitir a la descendencia estos diminutos «ayudantes de la digestión». Para ello se han desarrollado dispositivos y mecanismos de conducta especiales. Así por ejemplo, las termitas son incapaces de digerir la madera de la que se alimentan. Si se desinfecta el intestino de uno de estos insectos, matando así todas las bacterias y organismos unicelulares que contiene, la termita sigue según le dictan los mecanismos innatos de su comportamiento, pero muere de hambre. Ella misma es incapaz por sí sola de aprovechar el alimento, no puede romper las moléculas de la madera y acceder a su energía. Entre nuestros antecesores, muchas especies animales se especializaron en el consumo de plantas y formaron en su tubo digestivo sacos ciegos, en cuyo interior residían bacterias y protozoos capaces de disociar la celulosa. Hoy lo podemos ver en sus descendientes. Son cámaras de fermentación en las que moran libremente esos organismos: se les suministra alimento y viven en la abundancia. Lo que dejan es un material nutritivo digerible. Es, por lo tanto, una relación ventajosa para ambas partes, es una simbiosis. Todos resultan beneficiados. En los rumiantes (jirafas, antílopes, gacelas o nuestros ciervos y vacas) esta función de aprovechamiento de otros seres vivos ha adquirido una gran importancia. Tras una primera masticación, el alimento llega a una parte del estómago de la que pasa después a otra, para volver a continuación a la cavidad bucal: para la rumia. Por último, el alimento es tragado por segunda vez y llega a una tercera porción del estómago. En estas tres primeras cámaras del estómago el alimento es desmenuzado por fricción y actúan sobre él elementos auxiliares. La verdadera digestión

se realiza en el cuarto estómago. En los antecesores del ser humano dentro de la serie de los mamíferos, en el paso entre el intestino delgado y el grueso, o sea, detrás de la válvula de Bauhin, apareció un ciego para acoger a estos organismos auxiliares de la digestión. Este es el cuarto momento estelar en la evolución de nuestros órganos digestivos. En los animales fitófagos ese ciego alcanzó un especial desarrollo, mientras que en los carnívoros es pequeño y en buena medida ha experimentado una regresión. Otro tanto sucede en los primates omnívoros y en nosotros mismos. Lo que se inflama en el ser humano no es el intestino ciego sino su apéndice. Dentro del complejo funcionamiento de nuestro cuerpo, este adminículo en proceso de involución no carece tampoco por completo de función. Dado que esas cámaras de fermentación contienen sustancias tóxicas de la putrefacción, están sometidas al control de los órganos de policía que patrullan por el sistema de vasos linfáticos, es decir, los linfocitos que se mueven como amebas. De este modo, también el apéndice del intestino ciego se convirtió en un lugar de control interno y cuando se le extirpa sin motivo en los niños pequeños no deja de provocar algunas desventajas. Únicamente hay que eliminarlo cuando se inflama, pues de lo contrario el riesgo lo corre toda la comunidad celular, y nosotros mismos.

¿Y el quinto momento estelar? ¿Hay alguno también en esta evolución? Dentro del marco del desarrollo de nuestro cuerpo, no, pero sí en el curso de nuestra evolución posterior. Piénsese en los gasterópodos depredadores que aprovechan la concha de otros moluscos para hacer digerible su contenido. O en la araña que envuelve con sus hilos la mosca capturada y que la emplea como «olla», en la que bebe total o parcialmente su contenido cuando tiene necesidad de alimento. Y pensemos también en las ollas que el hombre construye gracias a su inteligencia con barro cocido y que después coloca sobre un fuego, logrado también artificialmente, para cocinar allí sus alimentos. Este calentamiento hace digeribles las paredes de celulosa de las células vegetales, lo mismo que hacen las bacterias y los organismos unicelulares, permitiendo así el acceso a su protoplasma. En el

curso normal de la ingestión de los alimentos, en la cavidad bucal se produce ya una digestión previa. Con el truco de la llama y de las ollas, dicha digestión comienza aún antes. Y además, lo que no logran las enzimas de la cavidad bucal, del estómago, de la vesícula billar y del páncreas lo consigue el agua hirviendo.

El quinto momento estelar en el desarrollo de la digestión humana se sitúa hace 2-1,8 millones de años. En aquella época el ser humano comenzó a ampliar su cuerpo con unidades adicionales: pico, lanza, cuchillo, olla, hogar, casa y otras más. Consiguió entonces dominar y aprovechar el fuego, inventando el hogar. Podría argumentarse que esta evolución no es equiparable con las mitocondrias, el intestino y el estómago, pues el hogar es de estructura inorgánica muerta, mientras que las mitocondrias, el intestino, el estómago y las microvellosidades intestinales son de materia viva. ¿Pero dónde reside la diferencia? Pensemos en las piedras que las aves y los cocodrilos tragan para convertirlas en herramientas de su digestión. Realmente ya están en su cuerpo. ¿Pero qué sucede con la concha perforada del molusco o con el insecto capturado por la araña? Esa concha y ese exosqueleto se convierten en «ollas de cocinar», no se encuentran dentro de su cuerpo. Hay que recordar también a los organismos ayudantes de la digestión: se encuentran dentro del propio cuerpo del huésped pero éste no los produce sino que únicamente los utiliza. En pocas palabras: lo que importa no es el aspecto externo sino el resultado, la utilidad, la aptitud para desempeñar una función. Tanto si se encuentra en el cuerpo como fuera de él, tanto si es de material orgánico como si no lo es, el hogar es un órgano auxiliar de la digestión. Y en última instancia, también todas las células vegetales están constituidas de elementos inorgánicos.

Pero la evolución va más allá. Al volverse consciente de su yo, el ser humano se interesó por todo aquello que le proporcionaba placer, que le resultaba cómodo y le hacía sentirse feliz. Se cría para ello, lo busca y en ese sentido despliega todo su intelecto. En lo que respecta al alimento, éste no sólo calma su hambre sino que, por lo general, tiene buen sabor, y todavía

mejor si se le adereza y prepara de manera adecuada, proporcionando entonces más placer, comodidad y sentimiento de felicidad. Surgió así la gastronomía, una de las ramas más brillantes de la economía humana: cocineros, libros de cocina, restaurantes, establecimientos especializados. El resultado es que el ser humano come mucho más de lo que necesita. Gracias a los mecanismos innatos de su organismo, éste convierte ese exceso de alimentos en sustancias de reserva, en forma de grasa que se acumula por debajo de la piel y en otros lugares del cuerpo. Surgió entonces otro problema: ¿cómo se puede comer mucho sin engordar? Los antiguos romanos se introducían en la garganta una pluma de pavo real después de las comidas para de este modo, mediante el reflejo del vómito, expulsar todo lo ingerido. En nuestra época se recurre a las dietas. Se calculan las calorías y se elaboran programas de comidas. Los libros de dietética tienen hoy la misma demanda que los de cocina o los restaurantes selectos. La moderna investigación ha sido útil en otro punto. Durante la cocción de plantas se destruyen las vitaminas que contienen y que tanto necesitamos, por lo que se recomendó el consumo de alimentos crudos, de fruta y de hortalizas sin cocer.

Lo mismo que se propuso como meta separar la sexualidad del embarazo indeseado, en este caso, se trató de evitar las consecuencias indeseables del buen comer. Uhland escribió: «No hemos de olvidar tampoco nuestro noble chucrut...» Lessing advertía: «En el comer eres rápido, en el andar gandul...» Y Calderón dijo: «La comida está hecha para mí, la bebida está pensada para mí, para mí están encargadas la cocina y la bodega, vine al mundo para comer y beber.» Científicamente esto es aplicable tanto a nosotros como a nuestra parentela animal. Cualquiera que sea el aspecto de un animal, está configurado de tal modo que debe ingerir alimento, alimento de cualquier tipo. Todo el resto se paga y se financia con este alimento. No debe olvidarse que sin energía transformable en trabajo no se construye ninguna estructura, no existe movimiento ni marcha, no hay despliegue, crecimiento y multiplicación, no hay senci-

llamente nada. Por esa razón y por muy mezquino que le parezca al alma cultivada, la ingestión de alimento es nuestra función principal. Todas las restantes se agrupan a su alrededor, no en torno al cerebro, ni al espíritu ni a los sentimientos. Los cimientos en los que descansa nuestro yo son la comida. Cuando alguien muere de hambre o de sed, se extingue su yo.

VIII. EL CEREBRO Y EL YO

Con un poco de retraso llegamos al órgano que, por regla general, se considera el más importante, pues a él debemos nuestra capacidad de pensar, nuestra percepción, nuestra conciencia del yo, nuestra capacidad para extraer conclusiones lógicas, nuestro contacto práctico con el mundo en que nos encontramos, independientemente del modo o de la constelación de circunstancias que hayan dado lugar a ello. Tratar este órgano, el más orgulloso de cuantos poseemos, después de la mano, el corazón, la boca parlanchina que expresa ideas con sentido, los ojos y los complicados órganos de la reproducción y la sexualidad, puede parecerles a algunos un sacrilegio. Algún filósofo ha llegado al extremo de ver en nuestro cerebro, en nuestra capacidad de pensamiento, la única realidad demostrable. Este órgano es, sin duda, la sede de nuestro «yo», del que el cristiano cree que continúa existiendo tras la muerte y del que el budista supone que se reencarna en un cuerpo tras otro, incluso de un ser humano en un animal y a la inversa. Virgilio afirmaba sobre el espíritu que «mueve la materia», y Friedrich Schiller pensaba que «construye el cuerpo». El filósofo, matemático y físico Pascal, por el contrario, consideraba al yo como algo «odioso». Nietzsche lo comparó a un perro que le seguía allá donde fuese. Shakespeare pone en boca de Yago, en *Otelo:* «No soy lo que soy», y en el Brihadaránjaka-Upanishad, escrito mucho antes del nacimiento de Cristo, leemos que este yo es el Señor del Universo, el Rey de lo creado, el Protector del ser, «un dique que separa entre sí ansias del infinito para que no refluyan unas en otras».

Por consiguiente, nos ocuparemos ahora de un tema delicado. ¿Podemos meter el espíritu, podemos introducir también al yo en el patrón de una aparición temporal? El autor cree que sí. Sin embargo, piensa también que las creencias que se oponen diametralmente a la ciencia moderna, que ven en el yo y

en el alma algo completamente distinto, incorpóreo y procedente de otras dimensiones que llegan hasta nosotros, no pueden rebatirse con argumentos contrarios, están justificadas y no deben en modo alguno considerarse afectadas o heridas por las afirmaciones que siguen.

Vemos en el ser humano una estructura material de un tipo muy especial que tan sólo puede explicarse a partir del largo camino de su aparición. No creemos, y muchos argumentos hablan en favor de ello, que este ser humano sea una meta deseada, un fruto mimado de un interés sobrenatural, la respuesta al por qué de la evolución que, por otra parte, apenas puede negarse. Vemos en el ser humano un fenómeno muy notable, si bien en el fondo no es ni más misterioso ni más notable que el resto de cosas que nos rodea, que la pareja energía-materia manifestada en una sorprendente cantidad de formas. Intentamos comprender este fenómeno del ser humano, es decir, a nosotros mismos, para entendernos mejor a lo largo del camino de nuestra aparición filogenética, con el fin de extraer de ello provecho para nuestra vida cotidiana práctica. En la era atómica hemos alcanzado un punto en el que es importante y esencial que nos contemplemos con seriedad. No para devaluarnos sino para valorarnos de un modo realista. Para no volar como Ícaro con alas de cera hacia las alturas del cielo y luego, a consecuencia del calor de la realidad, caer y, en lugar del esperado «cada vez más», obtener un «cada vez menos» o una «nada» muy reales.

Si nos ocupamos de nuestro órgano del pensamiento tan tarde se debe a que se trata de un órgano muy reciente, que filogenéticamente apareció hace poco tiempo y forma parte desde entonces de la familia de los restantes órganos. Al igual que el corazón, es simplemente un elemento más en un sistema mucho mayor que, casi como la circulación de la sangre, se ramifica por todo el cuerpo y aparece y actúa casi en cualquier punto del edificio celular del ser humano. Este sistema, el sistema nervioso central, es una característica de los animales. Las plantas no necesitan de él. Fijas y tranquilas en un mismo lugar, su ocupación es conseguir energía y materiales. Bien es

verdad que un tallo, un árbol o una flor realizan movimientos, pero éstos son lentos y se producen según los mecanismos del crecimiento o por variaciones de la presión interna. El animal, por el contrario, depende en general por completo de la búsqueda de la presa y de su captura. En el medio acuático existen también animales sésiles que aprovechan las corrientes de agua, que les traen hasta la boca el alimento: se trata de las esponjas, que simplemente lo absorben por su sistema de canales. Los pólipos y las medusas también son sésiles, pero han de capturar su alimento. Para ello hace falta una conexión telefónica entre los órganos sensoriales y los de captura. Para todos los animales activos dichas conexiones son mucho más necesarias. Pensemos en las seis patas de un escarabajo: a sus innumerables músculos debe llegar una gran cantidad de órdenes coordinadas para permitir una forma de emplazamiento adecuada para la obtención del alimento, la huida o el apareamiento.

De lo que se trata es de dar respuesta a los estímulos del entorno, de reaccionar de modo adecuado frente a ellos. El principio que rige dichas reacciones es, en todos los casos, el mismo y va vinculado a procesos que son asimismo comunes en el mundo inorgánico. Si agito nitroglicerina se produce una explosión; si acerco una llama a un gas inflamable, éste explota. Un estímulo del entorno muy concreto, una agitación o una chispa, inicia una reacción química en la que se libera energía. Existía un potencial de tensión que, al desaparecer, conduce a un estado de equilibrio en el que se libera la energía capaz de producir trabajo. La célula actúa según este mismo principio, si bien con una diferencia: ella misma es la que crea estos desequilibrios, es decir, crea potenciales de acción. Estos son tales que reaccionan a estímulos muy determinados, con lo que la reacción se produce en fracciones de segundo. Si las células movilizasen la energía tras la percepción de un estímulo, la reacción se produciría a menudo demasiado tarde. Sin embargo, al mismo tiempo, se dispone de trampas abiertas que están dispuestas en cualquier momento a reaccionar a la velocidad del rayo. Acto seguido hay que volver a abrir la trampa,

es decir, volver a establecer el potencial de tensión. Mientras que la respuesta al estímulo se produce en dos diezmilésimas de segundo, el período refractario dura de diez a cien veces más.

Desde el punto de vista de nuestro cuerpo pluricelular y de su aparición, el primer momento estelar de dicha evolución se produjo cuando en la comunidad celular de los celentéreos más sencillos, hace 1.500-1.300 millones de años, las primeras células nerviosas se especializaron en servir de conexión telefónica interna. Mientras que los cables metálicos se fabrican a partir de una pieza mayor mediante laminación y trefilado, las conducciones telefónicas internas de los animales pluricelulares están constituidas por prolongaciones finas de las células nerviosas, semejantes a los pseudópodos de las amebas, dispuestas a recibir los estímulos, las dendritas, y una prolongación por lo general más larga que transmite el mensaje nervioso. Esta última, la *neurita*, queda rodeada en los animales superiores por otras células y se reviste así de una capa aislante. Puede conducir hasta una célula muscular, una glándula u otra célula nerviosa, que se hace cargo entonces de la señal, la elabora y la transmite. Con esto aparece una red que en la historia evolutiva conduce a la formación de centros de conexión y, por último, a la concentración en una zona de conexiones cada vez mayor, el cerebro.

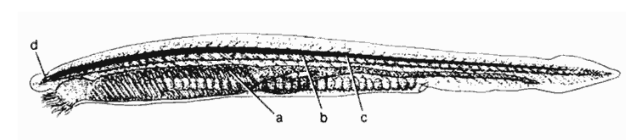
TABLA 10. Camino evolutivo del complejo de órganos al que debemos nuestro «yo» y nuestra «alma»

Figuras: **1** anfioxo, **2** esquema del corte longitudinal del cerebro de un tiburón, **3** una lagartija, **4** un mamífero inferior (marsupial), **5** un mamífero superior (caballo), **6** sección longitudinal del cerebro del ser humano, a = intestino branquial, b = notocordio o notocorda, c = tubo neural, d = dilatación del tubo neural, e = médula espinal, f = mielencéfalo g = cerebelo, h = mesencéfalo, j = diencéfalo, k = epífisis, I = hipófisis, m = prosencéfalo (cerebro), n = ventrículo cerebral, o = cuerpo calloso, x, y, z se explican en el texto. Las distintas partes del cerebro se señalan con un dibujo diferente.

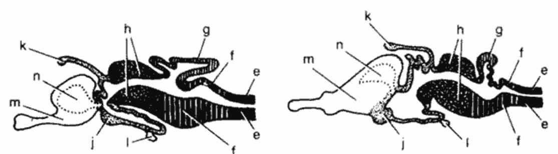
El anfioxo (1) nos muestra en la actualidad el nivel más primitivo de desarrollo de un sistema orgánico al que el ser humano debe su capacidad de

pensamiento, su conciencia y mundo psíquico. El control de los movimientos del cuerpo de estos protocordados (cf. tabla 5) que apenas han experimentado cambios esenciales desde hace 700 millones de años, corre a cargo de células nerviosas que forman por encima del notocordio o notocorda (b) un tubo longitudinal, el *tubo neural* o cordón nervioso (c). Las células sensoriales más sencillas de la percepción de la luz, el gusto y los olores suministran a esta central su información: en ella se coordinan las órdenes que controlan el comportamiento específico de los anfioxos. En el extremo anterior del animal, que no posee todavía una «cabeza» diferenciada, el cordón nervioso se ensancha formando una especie de vesícula (d). En los descendientes de los protocordados, los vertebrados entre los que se encuentra el hombre, se inició en este punto la formación de centros nerviosos diferenciados. Así surgió el *cerebro,* que en todos los animales superiores puede dividirse en cinco secciones (2-6). A la *médula espinal* (e) formada a partir del tubo neural sigue el *mielencéfalo* (f), cuyo techo se diferenció en el *cerebelo* (g), a continuación el *mesencéfalo* (h), que formó por arriba la epífisis (k) y por abajo la hipófisis (1), el *diencéfalo* (j) y, por último, el *prosencéfalo* (m), que experimentó un notable aumento en los mamíferos, convirtiéndose así en el *cerebro,* cuya capa exterior, la corteza cerebral, se pliega y que en el hombre supera en volumen con mucho a las restantes porciones cerebrales. Lo mismo que la médula espinal, el cerebro sigue siendo un tubo que se divide en la zona del prosencéfalo en dos cavidades situadas a la derecha y la izquierda, los *ventrículos* (n, indicado con línea de puntos). En el ser humano la corteza cerebral adquirió tal desarrollo que hacen falta conocimientos de anatomía para poder distinguir las porciones principales (mielencéfalo, cerebelo, mesencéfalo, diencéfalo y prosencéfalo). La figura 6 muestra el hemisferio derecho del prosencéfalo (m) visto en una sección longitudinal a lo largo de la línea media. La sección pasa a través del *cuerpo calloso* (o), que une ambas mitades muy plegadas. La cavidad que se encuentra por debajo (x) se produce a consecuencia de la dilatación de las porciones del prosencéfalo con respecto a las restantes. Desemboca por encima del cerebelo (y).

Es digno de nuestra atención examinar esta central de órdenes multidimensional del ser humano, pues incluso este interés (nuestra capacidad de la reflexión inteligente y de la investigación planificada) se lo debemos a este complejo orgánico tan desarrollado. La «chispa divina» de la conciencia y la inteligencia humanas, o sea, nuestro «yo», así como la totalidad de nuestros sentimientos que agrupamos bajo el término de «alma», se origina en esta enorme central de la *corteza cerebral* que en el ser humano consta de no menos de 10.000-15.000 millones de conexiones (células nerviosas), en colaboración con las otras partes cerebrales, en especial el diencéfalo, donde tienen su sede los mecanismos del comportamiento innatos que influyen sobre nuestra voluntad (cf. tabla 18). ►

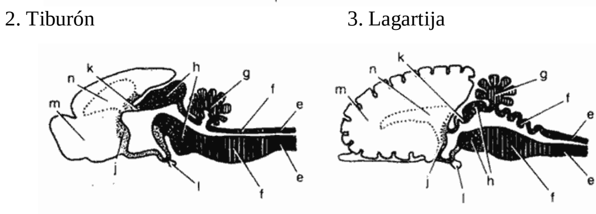


1. Anfioxo



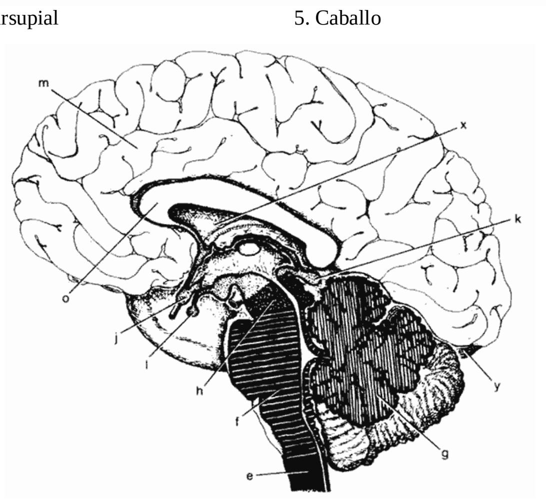
2. Tiburón

3. Lagartija



4. Marsupial

5. Caballo



6. Hombre

En el caso más sencillo se trata de fibras nerviosas sueltas que todavía encontramos en los descendientes de nuestros antepasados más primitivos, los pólipos y las medusas. Los primeros viven fijos al fondo marino y no necesitan ningún centro coordinado de conexión para capturar con sus brazos los pequeños organismos que pasan frente a ellos y conducirlos hasta la abertura de su tubo digestivo, la boca primitiva. Sin embargo, en las medusas encontramos ya un anillo nervioso en el borde de la umbela, que debe contraerse rítmicamente para que pueda moverse el animal. El segundo momento estelar en la evolución progresiva, o anagénesis, del sistema nervioso hace 900-700 millones de años, fue la unión de las redes nerviosas inicialmente difusas para dar lugar a nudos, los ganglios. Tanto en la línea evolutiva de aquellos animales que conservaron la boca primitiva como en la de aquellos en los que la boca se transformó en un ano, de los que derivan todos los vertebrados y nosotros mismos, se formaron centros locales de órdenes de este tipo. De todos modos, con una diferencia muy notable: en los protóstomos, a partir de los cuales surgieron los anélidos, los moluscos, los crustáceos, los insectos y los arácnidos, los ganglios están alineados en dos hileras en el lado ventral. Los gusanos actuales nos demuestran cuál es el motivo de esta disposición. Estos animales estaban divididos en segmentos provistos de parápodos. Los pequeños centros de control que los gobernaban aparecieron en los lugares en los que eran necesarios, es decir, junto a estos parápodos había una hilera a la derecha y otra a la izquierda y, entre ellas, comunicaciones transversales, que es lo que en biología se llama un *sistema nervioso escalariforme*. Por supuesto, en el extremo anterior los nudos ganglionares tuvieron que formarse por encima de la boca, pues éste era el lugar más adecuado para los órganos sensoriales. Por esta razón, la disposición en escalera asciende por ambos extremos sobre el tubo digestivo y finaliza en los ganglios situados por encima de la boca, o sea, sobre el dorso. Esta disposición básica aparece en la actualidad en todos los moluscos y los artrópodos. En el marco de su anagénesis algunos de dichos ganglios se reúnen de tal modo que, en especial entre los

cefalópodos y los arácnidos, la masa principal de los nudos nerviosos está situada en el extremo anterior, en parte por encima y en parte por debajo de la cavidad bucal. De nuestra propia línea filogenética no se han conservado descendientes de los primeros deuteróstomos móviles. De todos modos, en el anfioxo podemos ver perfectamente lo que sucedió (tabla 10). Las células de los ganglios se concentran en este caso por el dorso, es decir, por encima del tubo digestivo, lo cual puede interpretarse como una adaptación de estos animales a la natación, no a la reptación. También en su caso, lo mismo que sucede con cualquier animal que se mueve en una dirección, el lugar más apropiado para los órganos sensoriales, en especial los ojos y los órganos olfativos, se encontraba en el extremo anterior, por encima de la abertura bucal. Las células nerviosas que activaban los segmentos musculares en el movimiento de natación se situaron por encima del tubo digestivo. Se unieron para originar un tubo cerrado, que en el caso del anfioxo está encima de la notocorda (tabla 10, fig. 1, c). En los peces y los vertebrados terrestres este cordón fue sustituido más tarde por la columna vertebral, en la que las vértebras rodean en su parte superior la médula espinal, saliendo de cada una de ellas un par de cordones nerviosos. Por consiguiente, en este caso el desarrollo no se vio dificultado por la vinculación entre los ganglios ventrales y los de la cabeza, situados por encima de la boca. La médula espinal pudo extenderse por encima de la boca y diferenciarse en las distintas porciones especializadas del cerebro.

De acuerdo con el modo en que se forma durante el desarrollo embrionario actual el cerebro de los vertebrados, algunos investigadores sostienen que inicialmente estuvo formado por dos secciones, mientras que otros creen que eran tres. Sea como fuese, durante la evolución o su posterior avance, se produce la diferenciación en cinco partes cuya presencia puede observarse en todos los vertebrados actuales, desde los peces cartilaginosos hasta los mamíferos (tabla 10, fig. 2-6). El más anterior, el prosencéfalo, se especializó en el tratamiento de señales olfativas y dicha función se ha conservado así hasta los mamíferos. El prosencéfalo lo encontramos también muy desarrollado en

los tiburones, que son animales «olfatorios» especializados en los olores. La parte superior, el «techo», se convirtió más tarde en la sede de la capacidad del pensamiento, que en el ser humano es la corteza cerebral tan desarrollada. En la siguiente sección, el diencéfalo, desembocan los nervios de la visión y, mediante una evaginación, apareció el ojo pineal, que más tarde se transformó en una glándula hormonal. La sección inferior tiene una importancia especial. En ella aparecieron los centros de órdenes de los mecanismos de la conducta y de las funciones autónomas internas. Le sigue el mesencéfalo, el principal centro de conexiones para la unión de las señales sensoriales ópticas y acústicas con la actividad muscular. Las secciones cuarta y quinta son la médula espinal prolongada, denominada metencéfalo, y el cerebelo que emerge de su parte superior. Este último es el responsable de los movimientos coordinados, por lo que está muy desarrollado en los peces, los mamíferos y las aves. La prolongación de la médula espinal se encargó de la transmisión de las órdenes hacia los órganos internos: la actividad intestinal, el sistema circulatorio sanguíneo, la respiración, la actividad de los riñones y muchas otras cosas más.

Buscar dentro de esta gigantesca evolución una diferenciación en diversos momentos estelares carece de sentido, puesto que en este caso el aspecto externo es escasamente decisivo. A diferencia de lo que sucedió con la diferenciación de nuestro sistema circulatorio sanguíneo y del tracto digestivo, los centros de órdenes del sistema nervioso no pueden compararse a órganos tales como el corazón, el estómago, el hígado y el intestino grueso. De modo análogo a como sucede en una fábrica en la que la función directiva puede ir de un despacho a otro o pasar de un edificio al contiguo, otro tanto sucede aquí. Haremos justicia con el progreso evolutivo si en el sistema nervioso central no diferenciamos zonas a partir de las cuales partan las órdenes, sino áreas a las que hay que dirigir. Si actuamos de este modo, separaremos, en primer lugar, el *sistema nervioso vegetativo*, que dirige los procesos internos mediante reflejos.

Recibe también el nombre de *sistema nervioso autónomo,* porque trabaja de modo automático y no está sometido en el ser humano a la voluntad consciente de nuestro yo. La actividad del intestino, el control de la presión sanguínea, el metabolismo y un sinfín de otras funciones se realizan fuera de nuestra conciencia, por sí solas. En principio, este tipo de control es sencillo. Los ganglios, que filogenéticamente son muy antiguos y están distribuidos a lo largo de todo el cuerpo, que reciben el nombre global de *sistema nervioso simpático* y *parasimpático*, se dividen el trabajo de tal forma que un grupo ordena las funciones superiores y el otro las subordinadas. Los ganglios reciben, mediante señales de vuelta, la información sobre cuál es la situación en cada instante y activan o desactivan los procesos. Según cálculos actuales, en el cuerpo humano hay más de 20.000 conductos reflejos en constante actividad, que ordenan el funcionamiento habitual del organismo. Las señales procedentes de los órganos sensoriales llegan a centros que las procesan y desde ellos se emiten entonces, a través de conductos nerviosos, las correspondientes órdenes. El centro de esta actividad rectora reside en el ser humano en el *hipotálamo*, una sección de nuestro diencéfalo (tabla 18, k).

Si valoramos el sistema nervioso animal por sus rendimientos, hay que separar los centros que coordinan y ordenan el funcionamiento interno de aquellos otros que son responsables del comportamiento del animal en su medio, es decir, de cómo procede a la búsqueda del alimento, a la defensa contra los enemigos, de su comportamiento sexual, etc. Desde este punto de vista se produjo otro momento estelar cuando nuestros antepasados no sólo reaccionaron con reflejos similares a los que ordenan el funcionamiento interno del cuerpo, sino que desarrollaron sobre la base de mecanismos innatos un comportamiento diferenciado. Si me quemo un dedo y retiro la mano, esto es un reflejo, una función nerviosa que se realiza a través de una serie de impulsos nerviosos relativamente sencilla. Cuando una araña, sin que nadie se lo haya enseñado, teje su artística red, se trata evidentemente de un mecanismo innato muy complejo

de distintas acciones separadas, una capacidad que debe considerar básicamente superior. El hecho que un animal reconozca a su pareja nos parece lógico, pero ¿cómo se lleva esto a la práctica? A partir de la gran cantidad de señales sensoriales procedentes del entorno, este animal debe ser capaz de escoger unas muy concretas, precisamente aquellas que identifican al congénere y a la pareja. En este caso se trata de una función mucho más complicada que un simple reflejo. En el lenguaje corriente se denomina a dichas funciones *instintos*.

De lo que se trata aquí es de los mecanismos innatos. El material genético debe haberlos construido del mismo modo en que están estructurados el corazón, los ojos o las células nerviosas. Aunque bastante más pequeños, son unidades igualmente funcionales y en este sentido «órganos», lo mismo que nuestra mano o nuestros riñones. En forma de material genético conocimos un «órgano» situado en el centro de las células y que es mucho más pequeño que éstos. De manera análoga, los mecanismos del comportamiento innato son microscópicamente pequeños y se encuentran en algún lugar de las células ganglionares. Hasta la fecha ningún investigador ha podido observar una estructura de control de este tipo, ni con la ayuda de los mejores microscopios. Existen sin lugar a duda. Se puede determinar que maduran, es decir, que se desarrollan en el animal joven, como los órganos más grandes que podemos estudiar mucho mejor. Así, se creía antes que las aves jóvenes tenían que aprender los movimientos esenciales para el vuelo. El polluelo recién salido del huevo da saltos, incapaz de volar, con lo que da la impresión que está intentando aprender a volar. Esto no es cierto. En un experimento se ataron las alas de unos polluelos y se les soltaron cuando eran adultos, y se observó con sorpresa que eran capaces de volar. Dado que estaban atados no pudieron aprender a hacerlo. De este modo, el experimento demostró que disponen de un mecanismo innato en sus movimientos, que al salir del huevo no está todavía completamente desarrollado sino que madura tras un cierto tiempo, al igual que otros órganos.

Por consiguiente, como tercer momento estelar del sistema nervioso podemos considerar la aparición de mecanismos innatos que son más eficaces que los reflejos sencillos. ¿Cuándo se produjo este momento estelar? El anfioxo dispone ya de dichos instintos, pues si nos acercamos mucho, abandona el lugar donde se encuentra, nada un trecho por encima de la arena y vuelve a enterrarse con la cola hacia delante, lo que exige una compleja coordinación de diferentes movimientos musculares. El momento estelar de la aparición de los mecanismos instintivos dentro de la línea evolutiva de nuestros antepasados, al igual que en la evolución paralela que condujo a los moluscos y los insectos, podría fijarse en aproximadamente 700-600 millones de años, es decir, muy poco después de la aparición de los primeros ganglios en las comunidades celulares primitivas.

Se ha descubierto en los últimos años que en el comportamiento instintivo cabe distinguir tres funciones. El comportamiento innato se compone de: movimiento, reconocimiento y pulsión innatos. No basta con que un animal pueda llevar a cabo una determinada serie de movimientos sino que es esencial que lo haga en el instante correcto. Cuando se trata de huir de un enemigo carecen de sentido los movimientos innatos de la caza de presas o del comportamiento sexual. Por consiguiente, el animal ha de ser capaz de reconocer a los enemigos, las presas o la pareja en características muy determinadas para reaccionar después de un modo que tenga sentido, es decir, que conserve su vida. Sin embargo, no es suficiente con esto. Si no aparece ninguna presa, el animal no puede permanecer simplemente aja espera hasta que una quede dentro del alcance de su vista, pues, en este caso, moriría de hambre. Lo que debe hacer es buscar una, o dicho con más precisión, debe buscar los estímulos mediante los cuales reconoce a la presa. Un impulso de este tipo no es evidente en sí mismo. Para él se necesita también un mecanismo innato al que se ha llamado pulsión. El comportamiento instintivo consta, por consiguiente, de tres componentes fundamentales. Primero de un conjunto de instrucciones muy determinado para los movimientos, al que se denomina *coordinación hereditaria.* Segundo, un conjunto de

instrucciones acerca de la situación del entorno, es decir, qué estímulos sensoriales deben producirse para ejecutar esta serie de movimientos. En este caso se habla de un *filtro de estímulos*, de un *mecanismo desencadenante innato*, o abreviadamente MD1. Tercero, para cada comportamiento instintivo se precisa también un impulso innato para buscar dichos estímulos, a no ser que éstos se presenten por sí solos. A este impulso le damos el nombre de *motivación innata* o, simplemente, *pulsión*. Todos conocemos ejemplos de ellas. Si nos falta alimento, nuestro cuerpo presenta el impulso innato de ir a buscarlo y llamamos a esta pulsión hambre. Si carecemos de pareja, actúa la pulsión sexual y pone a nuestro cuerpo y nuestra mente en su búsqueda. Como puede leerse en cualquier texto de etología, existen más fenómenos innatos que son importantes en la estructura global del comportamiento instintivo. Por ello no es necesario que profundicemos más en el tema sino que es suficiente con que indiquemos que existe una función superior del sistema nervioso que no consiste solamente en realizar determinadas transmisiones de estímulos y órdenes mediante uniones de células nerviosas, sino en llevar a cabo acciones o reacciones diferenciadas que potencien la vida, según un mecanismo innato. Sin embargo, debemos mencionar todavía un detalle que será de gran importancia para enjuiciar nuestro yo. Se refiere a la pulsión innata. Evidentemente, ésta da lugar a una tendencia hacia determinadas situaciones de estímulo y a una ausencia de la misma hacia otras distintas. El sistema nervioso, por consiguiente, debe provocar que al cuerpo le «parezca» digno de alcanzarse un determinado conjunto de estímulos, atraerle simultáneamente hacia él, y que otro le parezca rechazable, es decir, alejarle de él. Dado que no podemos hablar con los animales, no sabemos nada acerca de sus sensaciones. En nuestro caso sabemos con toda exactitud que los actos instintivos están vinculados a sensaciones de placer, cuando se realizan, y con otras de displacer cuando no pueden llevarse a efecto. Si nos falta el alimento, aumenta nuestra excitación de displacer. Si nos amenaza un peligro y logramos ponernos a salvo, respiramos tranquilos y nos encontramos agradablemente aliviados. Si nuestro

compañero no responde a nuestros esfuerzos amorosos, nos sentimos desdichados. La observación de los mamíferos que nos son próximos nos hace ver que en ellos actúa un mecanismo similar. En biología se parte, por lo general, del hecho de que los actos instintivos vienen regidos por el principio de placer-displacer. Si se desencadena un instinto se producen actos instintivos y a ellos se vinculan experiencias internas, mientras que si no alcanzan la meta programada no pueden activarse y entonces se producen experiencias internas con excitaciones claramente molestas. Se ha demostrado que en los seres humanos el responsable de la coordinación de tales sensaciones de placer-displacer es una sección del diencéfalo, el tálamo. Mediante estimulación artificial del cerebro en animales de experimentación se ha podido averiguar que los mecanismos innatos de su comportamiento instintivo se encuentran localizados en las porciones filogenéticamente más antiguas de su cerebro. Así, por ejemplo, estimulando la zona apropiada, es posible hacer que un gallo se levante y cante, al estimular otra distinta, que crea que está enfrentándose a un depredador y se defienda, y con una tercera, que intensifique su impulso sexual.

Recapitulemos lo que hemos visto hasta este momento. El primer momento estelar: en el cuerpo pluricelular, determinadas células se especializan en la función de transmisión de señales. En uno de sus lados desarrollan unas prolongaciones que reciben estímulos (casi siempre procedentes de células sensoriales) y, en el otro, otra más larga a través de la cual se transmite el impulso hacia un músculo, una glándula u otra célula nerviosa. Segundo momento estelar: estas células nerviosas se fusionan en ganglios que elaboran numerosos estímulos y se encargan de dar órdenes a los órganos. Reciben estos avisos de control a través de señales de camino de vuelta y, reforzando o reduciendo las señales que emiten, ejecutan la orden. Tercer momento estelar: el material genético no sólo se encarga de controlar la síntesis de estas células nerviosas y de los ganglios especializados en determinadas funciones, sino que determina asimismo la formación de mecanismos innatos para el compor-

tamiento frente al medio. Estos últimos dirigen acciones y reacciones coordinadas, determinando ante qué combinación de impulsos deben reaccionar, y llevan al animal a estados de excitación que desencadenen una conducta adecuada que tienda a satisfacer aquel estado. Si lo logra, el animal recibe como gratificación una vivencia interior positiva, pero si no, se desencadenan en él excitaciones desagradables que le estimulan, con más vehemencia, a conseguir su objetivo. Casi todos los comportamientos animales vienen regidos por mecanismos de este tipo. No es raro que pulsiones diferentes colisionen y que se refuercen o debiliten mutuamente. La sede de todos estos controles instintivos son las partes filogenéticamente más antiguas del cerebro, el llamado *tronco cerebral*. De manera análoga al material genético a partir del que se han sintetizado, son conexiones de dimensiones moleculares, submicroscópicas.

El cuarto momento estelar de esta evolución se produjo cuando el sistema nervioso desarrolló la capacidad de variar, diferenciar y afinar dichos mecanismos innatos, en virtud de experiencias individuales. Una ranita salta intentando atrapar cualquier objeto que pase volando por delante de ella. Este es un comportamiento innato, es decir, instintivo, que se desarrolla de manera automática. Si atrapa un insecto que pica, asocia la impresión sensorial del insecto con su comportamiento y en el futuro evitará cazar tales insectos, es decir, ha «aprendido». Este es un progreso decisivo. Si un animal consigue esta capacidad, ya no actúa como un autómata, sino que puede adaptarse de modo individual a las condiciones de su entorno.

Este momento estelar debió de alcanzarse en la serie de nuestros antepasados poco después del tercero, aproximadamente hace 600-500 millones de años. Se puede demostrar la existencia de la capacidad de aprendizaje en organismos de escasa organización. Se basa en una función que denomínanos memoria, una capacidad que se potenció claramente en la serie de los vertebrados. Esta capacidad no está ligada en principio a ninguna parte determinada del cerebro, si bien más tarde se

desarrolló en el «techo» de la zona anterior del cerebro olfatorio, una sección que se ampliaba y que se hizo cargo preferentemente de dicha función. Entre los anfibios y los reptiles muestra ya un volumen en aumento con respecto al de los peces, si bien alcanzó su máxima expresión en los mamíferos (tabla 10), a los que se denomina por esta razón «animales de aprendizaje». Los jóvenes no son, como ya se ha dicho, capaces de alimentarse o defenderse por sí mismos desde el momento del nacimiento, sino que necesitan de los cuidados de los padres o del grupo. Un instinto innato les empuja a relacionarse de manera activa con su entorno, a investigar todos los objetos que hay en éste, a investigar sus características y a probar su capacidad de movimiento. Así, construyen poco a poco mecanismos individuales en su cerebro que completan, amplían o desplazan a otro lugar los mecanismos innatos. Este proceso corre parejo a la involución de determinados mecanismos instintivos. Los más afectados son los del movimiento, las coordinaciones hereditarias. Si permaneciesen rígidamente establecidos como en el caso de los insectos, los procesos de aprendizaje individuales serían muy limitados. Sin embargo, puede suponerse que la estructura de estos mecanismos sea probablemente muy parecida a la de los innatos, estando incluso localizados quizá en las mismas zonas. Las experiencias de la vida humana, de la que nos ocupamos, hablan en favor de esta hipótesis. Sin embargo, por encima de los procesos de aprendizaje, aparecen mecanismos que son análogos a los instintos y están muy emparentados con ellos. De este modo, las costumbres no son innatas en nosotros sino que nos han sido impuestas por la educación, o las hemos adquirido de manera individual. No obstante, una vez fijas influyen sobre nuestra actividad del mismo modo que los instintos. Si nos hemos acostumbrado a llevar a cabo algo concreto a una hora determinada, por ejemplo, tomar un aperitivo en el bar de la esquina, al acercarse dicho instante aparece un impulso tendente a llevar a cabo esta acción y que tiene un carácter instintivo. Si las circunstancias impiden que llevemos a cabo esta costumbre, esto nos produce displacer, una excitación irritante. La visión del

lugar en cuestión, del bar, despierta en nosotros el deseo de entrar en él, igual que la oscuridad nos infunde, de modo innato, miedo. Incluso la realización de la actividad a la que nos hemos acostumbrado adquiere un carácter automático que viene impuesto.

Por consiguiente, la capacidad de aprendizaje no sólo lleva a que los mecanismos de origen orgánico puedan variarse o ampliarse, sino a que puedan aparecer otros completamente nuevos. Cuanto mayor es la capacidad de la «fábrica» formada por células nerviosas, el cerebro, de almacenar no sólo recuerdos y experiencias sino de emplear esta riqueza de conocimientos para resolver los problemas, tanto mayor es la cualidad a la que llamamos inteligencia. Ésta puede determinarse y medirse de modo experimental. Si se deja a una gallina delante de una valla de alambre de varios metros tras la que se ha colocado comida, corre de un lado a otro, atraída por la comida e intenta, sin resultado, alcanzarla a través del entramado de la valla. El animal no llega a la solución que consiste en dar un rodeo, porque su capacidad de asociación de contenidos de la experiencia no está desarrollada. La situación es diferente en el caso de un perro. A! principio también corre excitado de un lado a otro e intenta alcanzar la comida a través de la malla metálica, pero enseguida veremos como corre a lo largo de ésta hasta encontrar una abertura que le permita acceder a la comida. Por lo tanto, la siguiente capacidad de grado más elevado se logra mediante el simple almacenamiento de experiencias, su elaboración y la obtención a partir de ellas de las consecuencias correspondientes.

En el ser humano esta evolución llegó más lejos. En el hombre primitivo, a medio camino entre el mono y nosotros, se produjo, hace 4-2 millones de años, otro momento estelar en la anagénesis del sistema nervioso. Mientras que en los momentos estelares tercero y cuarto, la aparición del comportamiento instintivo y el del aprendizaje, nos teníamos que ceñir más a la función, ya que los órganos que la llevan a cabo son invisibles para nosotros, llegamos de nuevo a una variación estructural visible y que consiste en un gran aumento del prosencéfalo que,

debido a la estructura especial de su tejado, se convierte, en la serie ascendente de los vertebrados, en el *cerebro*. En el ser humano, la parte externa de esta excrecencia, la corteza cerebral, alcanza una dimensión tal que su volumen supera con mucho la suma del de las restantes partes. Se calcula que el número de células nerviosas que se ven afectadas por su formación oscila entre 10-15.000 millones. Esta multiplicación enorme implicó un aumento correspondiente de la superficie, lo que explica sus pliegues.

Este aumento extremo de dicha parte del cerebro, responsable de los procesos de aprendizaje y de la formación de asociaciones, condicionó en el ser humano el aumento del cráneo que envuelve y protege al cerebro. El hecho que una ampliación de este tipo fuese posible podría estar relacionado con un cambio importante en el modo de vida de nuestros antepasados primates. Como se supone hoy, descendemos de especies de primates que, debido a cambios climáticos y un proceso de desertización de regiones cubiertas por las selvas primitivas, pasaron de una vida arborícola a convertirse en depredadores que cazaban en las sabanas. Con ello se produjo la erección del cuerpo, la marcha erguida. Los primates depredadores atrapaban pequeños animales, aunque también cazaban antílopes y otros grandes mamíferos. En posición erguida podían ver mejor por encima de la hierba alta y, andando sobre sus extremidades posteriores, eran capaces de perseguir mejor a su presa. Las extremidades anteriores, que se habían convertido ya en los primates en brazos con manos, quedaban ahora libres para portar armas y lanzar piedras o lanzas. Como efecto secundario de este proceso, los fuertes músculos que sujetaban la cabeza perdieron importancia. Al caminar erguidos, el peso de la cabeza es soportado por la columna vertebral, por lo que dichos músculos podían ser más débiles, mientras que nada se oponía a un aumento simultáneo del tamaño del cráneo. Dado que por otro lado un aumento del aparato de la inteligencia, la corteza cerebral, traía consigo claras ventajas, es decir, aumentaba el valor de selección, las mutaciones que conducían a un aumento del tamaño de la cabeza se impusieron de modo automático.

Así, desde un punto de vista científico, el proceso de conversión en ser humano se basa en dos componentes distintos que no pueden considerarse como expresión de una voluntad planificadora con propósitos definidos. Primero, en la vida arborícola de nuestros antepasados, a la que debemos la estructura de las manos, y segundo el paso de los primates depredadores a desplazarse erguidos en la estepa, lo que favoreció el aumento del tamaño del cráneo. En los cerebros electrónicos creados por el ser humano, los computadores, se ha demostrado que la ampliación de sus capacidades exige una multiplicación de los circuitos que los forman. La cantidad da en este caso lugar a la calidad, en el sentido de una ampliación de las funciones. Si los insectos, tan desarrollados, quedaron muy por detrás de los vertebrados en cuanto a sus funciones de aprendizaje se debe en buena medida al volumen de su cuerpo, limitado por el esqueleto externo, y al número máximo de ganglios que podía desarrollarse en su interior. Si no tuviésemos las manos, el aumento de inteligencia de poco nos habría servido.

El quinto momento estelar fue, por consiguiente, el instante en el que nuestros antepasados, hace 4-2 millones de años, alcanzaron la *conciencia del yo.* Llegaron a la capacidad de reflexionar sobre sí mismos y alcanzaron la tan discutida «conciencia». En dicha conciencia se ha visto algo que debe diferenciarse de los efectos materiales, fundamento para una separación de principio entre lo espiritual y lo material, entre el cuerpo y el alma que depende de él. Sin ningún género de dudas, se produjo aquí un aumento de la función que tuvo una inmensa importancia y que permitió al ser humano portador de la vida sobresalir en el curso que hasta entonces había seguido la evolución. La hipótesis de una influencia extraterrena, extrasensorial, para explicar esta propiedad específica de la conciencia del yo, no es en absoluto necesaria. Lo que sucedió en el caso del ser humano fue más bien que el escudo interno de proyección de los recuerdos y las representaciones alcanzó tal medida de capacidad de combinación que nos permitió vincular prácticamente cualquier contenido de la experiencia con otro

cualquiera, realizar planes en el cerebro, erigir castillos de ensueño y, finalmente, incluirnos nosotros mismos en este juego de combinaciones. Expresado en términos científicos, el ser humano alcanzó la capacidad de *objetivarse.* Al igual que el árbol que veía, la lucha que vivía o el sabor que degustaba, el ser humano también fue capaz de convertir su propia persona en objeto de un juego mental. Del mismo modo que podemos seguir el desarrollo embrionario de muchos órganos, cómo aparecieron filogenéticamente y cómo alcanzaron a desarrollar sus capacidades, en el niño puede seguirse el desarrollo de la conciencia. Según han establecido los psicólogos, el niño se experimenta a sí mismo inicialmente sin diferenciar entre él mismo y su entorno. Hasta que no alcanza el tercer año de edad no comienza a distanciarse de los demás y a afirmarse, alcanzado el concepto del yo. Más tarde, en la pubertad, se intensifica todavía más la reflexión sobre la propia persona, el sentimiento de uno mismo. Con ello se alcanza un nivel de inteligencia que abre nuevas posibilidades. El hecho de que el ser humano se considerase durante miles de años como algo distinto a las plantas y los animales, radica en esta capacidad que le permitió convertirse en algo inmensamente superior. Sólo sobre la base de esta conciencia del yo pudo incrementar, casi de manera ilimitada, las posibilidades de su cuerpo, mediante unidades formadas artificialmente: herramientas, máquinas, organizaciones, órganos suplementarios o como queramos llamarlos. Sólo sobre la base de esta conciencia del yo se transformó en el señor indiscutible del planeta.

Sin embargo, esto no se produjo sin efectos secundarios negativos. Igual que muchos cocineros juntos estropean el guiso, muchos mecanismos diferentes que actúan al mismo tiempo dificultan el comportamiento. Entre los animales de aprendizaje se producen a menudo conflictos entre los mecanismos individuales de comportamiento y los de control de los instintos elaborados por el material genético. En el caso del ser humano chocan muchas más cosas. La conciencia del yo y la inteligencia abren la posibilidad de una actuación racional, lo que choca

con expresiones de la voluntad cercanas a las reliquias del instinto innatos; a éstas se añaden las costumbres obtenidas por aprendizaje. Goethe escribió: «Dos almas laten en mi pecho.» Pero en realidad son muchas más. En primer lugar, nuestro denominado yo está sujeto a las influencias del sistema neurovegetativo, cuyos efectos están casi totalmente fuera de nuestro control. Si tenemos mal la presión sanguínea o nos duele el estómago, nos sentimos extraños y actuamos de forma diferente, tomando en ocasiones decisiones que más tarde nos sorprenden, por las que después nos disculpamos. Más de una decisión de gran alcance y llena de consecuencias de los jefes de Estado, generales o políticos se ha producido seguramente en estas circunstancias. Todo el mundo sabe por propia experiencia lo intensa que es la fuerza de nuestros instintos. Pueden cambiarnos de tal forma que dejemos de ser nosotros mismos. De igual modo, las normas de reacción innatas pueden desempeñar en nosotros un papel mucho mayor del que queremos reconocer, en especial en la ética y la estética. La conducta de ostentación se pone en marcha en nuestro interior, el instinto sexual, el de seguridad, el de propiedad, el de ascenso a un grupo superior y muchos otros más. A éstos se suman las ataduras forjadas por nosotros mismos, nuestras costumbres, que nos dominan con mayor intensidad a medida que nos hacemos mayores (tabla 18).

A esto se añade otra influencia muy importante sobre nuestro yo. Tiene consecuencias de tal magnitud que el inicio de su desarrollo debe considerarse como el sexto momento estelar. Se sitúa tan sólo hace 30.000-20.000 años y se basa en la comunicación oral y la formación de sociedades y la división del trabajo que de ella derivan. Se trata de funciones de la corteza cerebral especialmente desarrollada. Mientras que las experiencias y habilidades obtenidas, en un principio, de modo individual desaparecían con la vida, éstas podían transmitirse a otros. Las generaciones siguientes continuaban construyendo sobre ellas. En los grupos organizados aparecieron costumbres, usos, religiones e ideologías. El yo individual cayó de este

modo en el entramado de acciones de un «nosotros» superpuesto o, expresado con más precisión, de muchos «nosotros» de rango superior. La influencia de las sociedades sobre los individuos, directa o indirectamente a través de la educación, demostró ser muy fuerte. En la vida actual nuestro yo no sólo recibe la influencia del Estado, la familia o la estirpe, sino que también del colectivo que determina la práctica del oficio o profesión, la publicidad omnipresente que intenta despertar en nosotros deseos, la propaganda política o el club deportivo al que pertenecemos. No existe apenas un órgano que no influya sobre nuestro yo. A esto se añaden los mecanismos innatos y adquiridos y los «superyós», los «nosotros», de los que sólo somos parte, a veces ruedecillas sin voluntad.

Se sabe todo acerca de cómo cada individuo puede contrarrestar todas estas influencias, de cómo puede alcanzar del mejor modo una orientación vital clara e individual. Sin embargo, falta la aportación más importante: la explicación, en nuestra educación escolar, de lo que compone en realidad nuestro yo, de su historia, de los problemas a los que se enfrenta y de cómo elabora una escala de valores susceptible de cambios e influencias. Con la formación de la sociedad y la creciente aparición de «nosotros» muy poderosos y convincentemente supraindividuales, se dificulta aún más esa autovaloración.

Conclusión: muchas cosas contradicen la idea de que el desarrollo de la vida se escenificó con un propósito concreto: el de dar lugar al ser humano, consciente de sí mismo y capaz de autorreconocerse. Las neuronas y el sistema nervioso fueron al principio órganos puramente coordinadores, unidades auxiliares de la función principal. Sólo en el caso del ser humano, es decir, realmente muy tarde en el conjunto de la evolución, mediante un desarrollo especial de la corteza cerebral, el cerebro se convirtió en centro directivo dominante. Igual que antes, sirve a las funciones principales (obtención del alimento, defensa contra los enemigos, reproducción), si bien, mediante la inteligencia y la conciencia del yo, se llegó a la idea, incluso al convencimiento, de que la actividad cerebral no está al servicio de las funciones principales sino al del yo. Sin embargo, esto

condujo a una presunción cuestionable, a un rechazo orgulloso de las instrucciones aparecidas de formas tan diversas y que constituyen este yo e influyen poderosamente sobre las acciones de nuestra voluntad. Al final, se llegó incluso a creer que este yo sobrevive a las células que lo forman, lo cual, si bien no puede probarse lo contrario, es, cuanto menos, altamente improbable. Si nuestro cerebro resulta muy dañado, desaparece nuestra conciencia, e incluso cuando los ganglios descansan durante el sueño sucede así. Si se cree que con el espíritu ha aparecido algo nuevo en el mundo, que no tiene nada que ver con la materia, es una contradicción con el claro camino evolutivo a través del cual esta capacidad especial del discernimiento ha aparecido. Aunque se sostiene que el espíritu habita en toda materia, hay pocas pruebas de ello, mientras que, por el contrario, se puede seguir con exactitud la aparición paso a paso de esta función celular.

En esta evolución no hay rupturas ni saltos. No obstante, nunca se agrupó tal diversidad de fenómenos bajo una misma palabra como sucede con el término «yo». Cuando Pascal afirma que «el yo es odioso», expresa con ello la desazón que causa tener que considerar como unidad una diversidad tan cambiante como es el yo. Cuando Shakespeare hace que Yago exclame «No soy lo que soy», seguramente se refiere en última instancia a lo mismo. El yo es, de hecho, «el señor del universo, el rey de la creación, el protector de los seres» como puede leerse en el Brihadaránjaka-Upanishad. Se trata en realidad de un «dique que separa entre sí ansias del infinito para que no fluyan unas en otras». Pero todo esto no es un regalo por parte de una fuerza superior sino la consecuencia de un proceso evolutivo muy diversificado y difuso, en el que se impuso lo más eficaz, en el que lo menos eficaz quedó atrás. Su poder ha resultado ser inmenso y tan sutil, tan lleno de conflictos y tan intrincado como lo es en cada una de sus partes.

LA EVOLUCIÓN DEL PLANETA TIERRA

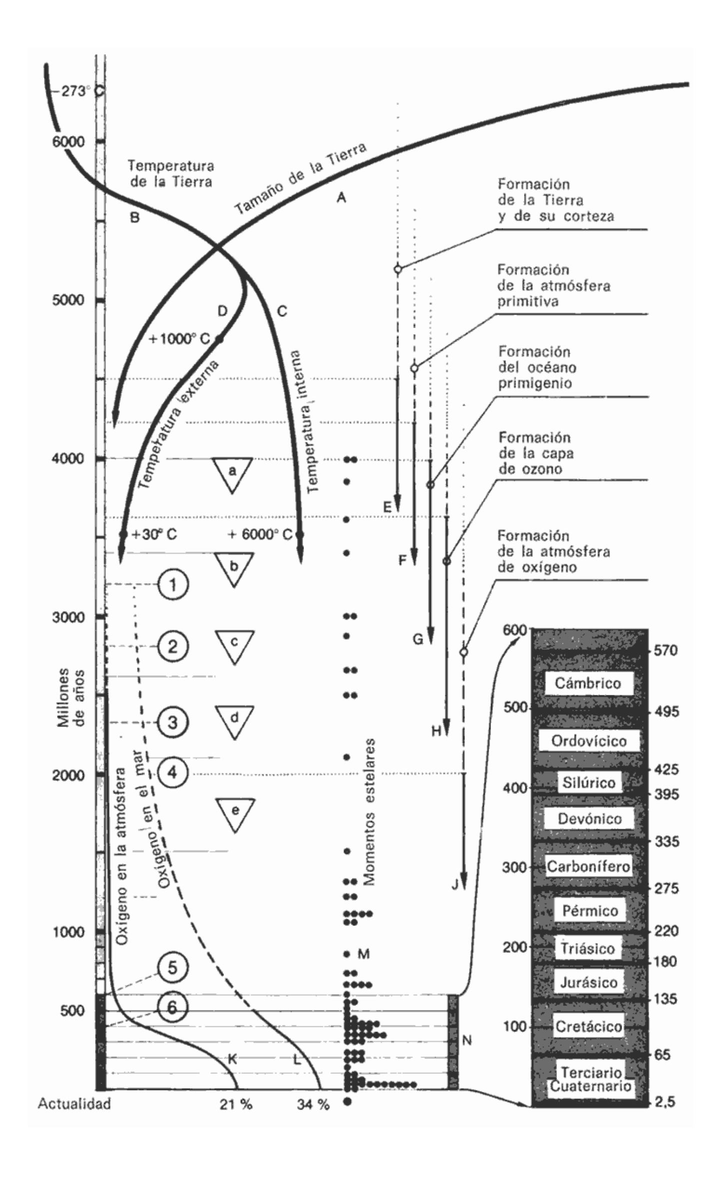
TABLA 11. Cuadro sinóptico de la formación de nuestra tierra natal, la «Tierra», y del despliegue de la vida que conduce hasta nosotros

Figuras: A = tamaño del globo terráqueo, B = su temperatura, C = la temperatura interna, D = la temperatura externa, E-J = fases principales en la evolución de nuestro entorno. 1-6 = primeros fósiles de las etapas evolutivas de la vida, a-e = principales momentos de la evolución de la vida según deducciones actuales. K, L = contenido de oxígeno en la atmósfera y el mar. M = los «momentos estelares de la evolución de la vida» explicados en este libro, N = las denominaciones geológicas de los períodos de los últimos 600 millones de años.

Sobre el origen de la Tierra se han aventurado numerosas hipótesis. Según el estado actual de la ciencia se admite que el planeta *Tierra,* así como el *Sol* y sus restantes planetas, se formó a partir de nubes de gas y polvo cósmico, que poco a poco fueron atrayéndose por acción de la fuerza gravitatoria hasta comprimirse en un cuerpo sólido (A). La estrella en la que vivimos era, por lo tanto, fría al comienzo, con una temperatura de –273°C. Al aumentar su densidad se produjo un calentamiento (B) que condujo a una temperatura interna de unos 6.000 °C (C), mientras que la capa exterior se enfrió hasta unos 30 °C (D). Como demuestran las rocas más antiguas, hace 4.500 millones de años se completó la formación de la corteza (E). Mediante erupciones volcánicas se produjo la atmósfera primitiva formada por vapor de agua, nitrógeno, dióxido de carbono, metano, amoníaco y otros gases (F). Debido al progresivo enfriamiento, el vapor de agua fue depositándose en forma de agua en el curso de precipitaciones que duraron varios milenios y que, aunque al principio volvían a evaporarse, acabaron por crear los mares primitivos (G). La intensa radiación ultravioleta del Sol provocó en las capas superiores del agua la formación de macromoléculas a partir de aminoácidos y nucleótidos, a través de las cuales comenzó el proceso de la *vida.* Por *fotodisociación* se formó una capa de ozono sobre los mares, que impedía en parte la entrada de rayos ultravioletas (efecto Urey). Con la aparición de las primeras algas fotosintéticas (pág. 107) comenzó a producirse oxígeno libre, que del mar se difundió a la atmósfera (J). Aunque el aumento del contenido de oxígeno de la atmósfera (K) es perfectamente constatable en los hallazgos geológicos, el que se produjo probablemente en las capas superiores del agua es todavía hipotético (L). Con la aparición de las plantas terrestres el oxígeno atmosférico comenzó a aumentar hasta los valores actuales.

Los fósiles más antiguos conocidos de cuerpos orgánicos son bacterias halladas en rocas del grupo sudafricano de Onverwacht (1). Las algas fotosintéticas más antiguas se encontraron en rocas del grupo Bulawayo (2), algas verdiazules filiformes (paso previo a los organismos pluricelulares)

en cuarzitas de Pogama (3), las primeras algas nucleadas en la formación Gunt Flint de Ontario (4), los primeros organismos pluricelulares animales (medusas, gusanos, artrópodos primitivos, etc.) en la formación surafricana de Ediacara (5), los primeros vertebrados terrestres de hace unos 350 millones de años en diversos lugares (6). Sin embargo, como puede averiguarse con la ayuda de otras disciplinas, las estructuras que condujeron al proceso de la vida surgieron hace unos 4.000 millones de años (a), las primeras plantas que absorbían la energía de la luz hace unos 3.400 millones de años (b), los primeros «animales» que degradaban la sustancia orgánica mediante oxidación hace 2.900 millones de años (c), las primeras células provistas de un núcleo hace 2.400 millones de años (d), los primeros animales pluricelulares hace unos 1.800 millones de años (e). Los «momentos estelares» en el camino evolutivo de nuestra serie de antecesores (M) que se han descrito en este libro muestran acumulaciones en la zona del despliegue de los organismos pluricelulares, los vertebrados, la homeotermia y la inteligencia humana. Los últimos 600 millones de años se han dividido en períodos sobre la base de los hallazgos fósiles (N), con los que se conocen más detalles de las condiciones climáticas y de sus biocenosis características.



-273° C
6000
5000
4000
3000
2000
1000
500
Actualidad
Millones de años
Temperatura de la Tierra
Tamaño de la Tierra
A
B
C
D
+1000° C
Temperatura externa
Temperatura interna
+30° C
+ 6000° C
a
b
c
d
e
1
2
3
4
5
6
Oxígeno en la atmósfera
Oxígeno en el mar
K
L
21 %
34 %
Momentos estelares
M
N
E
F
G
H
J
Formación de la Tierra y de su corteza
Formación de la atmósfera primitiva
Formación del océano primigenio
Formación de la capa de ozono
Formación de la atmósfera de oxígeno
600
500
400
300
200
100
570
495
425
395
335
275
220
180
135
65
2,5
Cámbrico
Ordovícico
Silúrico
Devónico
Carbonífero
Pérmico
Triásico
Jurásico
Cretácico
Terciario
Cuaternario

IX. ÓRGANOS DEL TACTO

Muy pocos de quienes asisten a un concierto tienen una idea clara de los curiosos elementos que componen el órgano al que deben agradecer su goce de la música. Algunos de estos elementos sirvieron a nuestros antepasados peces como soporte para las branquias, transformándose más tarde en elementos de apoyo de la boca y ayudaron a sujetar y desmenuzar al alimento. El melómano debería sorprenderse también de que tratemos nuestra desarrollada capacidad de audición junto con la de detectar la gravedad terrestre, la de distinguir entre frío y caliente, el mantenimiento constante de la presión sanguínea y la percepción del dolor. Una bofetada nos parece algo totalmente distinto a una sinfonía, la sensación de estar girando no tiene punto de comparación con aquella por la cual sentimos frío en los pies. Sin embargo, está justificado establecer una comparación entre todos estos fenómenos, ya que en todos los casos ocurre que nuestro cuerpo percibe el contacto de otra materia. El sentido del tacto comprende el contacto con cuerpos, líquidos o gases. Nuestro oído está dotado de la capacidad de percibir las oscilaciones de partículas materiales como las del aire, a las que denominamos *sonido.* El calor, que percibimos como algo distinto, es, como se sabe desde 1841, tan sólo una oscilación de la materia, de sus unidades más pequeñas, los átomos y moléculas, cuya velocidad es mucho mayor que la del sonido. Las actuaciones dañinas ejercidas por otros cuerpos las percibimos como dolor. Nuestro conocimiento sobre el arriba y el abajo se refiere a nuestra relación personal con el planeta Tierra, que presiona contra nosotros y contra el que nosotros mismos presionamos.

Si se ha comparado nuestro cuerpo a un saco en cuyo interior penetran informaciones procedentes del exterior a través de estrechos orificios, entonces los agujeros de los que vamos

a hablar ahora son mucho más numerosos y mayores que aquellos a través de los cuales vemos y olemos nuestro entorno. De la totalidad de frecuencias disponible correspondiente a las ondas electromagnéticas, con nuestros ojos apenas somos capaces de percibir un 0,000 000 000 003 por ciento. Nuestra capacidad de percibir las propiedades químicas mediante los sentidos del gusto y del olfato es de un porcentaje todavía menor. Por el contrario, percibimos los contactos que van de golpes fuertes hasta débiles oscilaciones. En esta gama el saco tiene «orificios» por todos los lados. Son miles, incluso millones, los «orificios» de este tipo. Introducir aquí momentos estelares en esta evolución, es decir, el instante de aparición de «orificios» importantes, no es tan sencillo. Vamos a proceder de modo que a cada uno de los mecanismos de los sentidos principales le asignaremos un único momento estelar.

El más antiguo de los sentidos es, sin duda alguna, el del tacto. Su aparición debió de coincidir con la de los primeros organismos depredadores o fue poco posterior, puesto que es una condición indispensable para la caza de la presa y la defensa. De todos modos, cabe suponer que este momento estelar se sitúa mucho antes de la formación de las auténticas células, es decir, las dotadas de un núcleo, o sea, hace unos 3.500-3.000 millones de años. La sensibilidad con la que reacciona el protoplasma a los contactos nos lo demuestra, entre los organismos unicelulares actuales, en especial las amebas (tabla 19, fig. 1). En el caso de los organismos pluricelulares inferiores, algunas células nerviosas se especializaron después en la percepción de estímulos sensoriales del contacto corporal. Las células nerviosas todavía aisladas, cuyas prolongaciones se ramifican por debajo de la piel o emergen de ella mediante un filamento, aparecen ya en los celentéreos, por ejemplo los pólipos coralinos y las medusas. Se presentan asimismo en la piel de los animales marinos de organización superior. En los teleósteos se encuentran dentro de fosetas así como en tubos muy ramificados y abiertos hacia fuera, en el interior de la piel. Permiten a estos animales percibir las corrientes de agua, ya que con ayuda de estos órganos de la línea lateral son capaces, inclusive, de

percibir sabores a distancia. Los movimientos propios de su cuerpo originan ondas en el agua que se reflejan en los cuerpos de alrededor, con lo que penetran en este sistema de canales y excitan en ellos los filamentos de las células situados muy juntos. Por esta razón, los peces pueden nadar de noche y en aguas turbias sin chocar. En estas condiciones incluso son capaces de cazar. Durante el juego amoroso estos animales realizan movimientos vibratorios con las aletas, que el compañero percibe con dicho órgano, excitándole y poniéndole en disposición de llevar a cabo el apareamiento.

En los animales terrestres la piel está expuesta al peligro de la desecación. Por este motivo las células sensoriales sensibles a la presión se encuentran en capas más profundas. Sin embargo, también aquí encontramos el principio fundamental de la percepción de los estímulos mediante finas prolongaciones, por ejemplo, en forma de pelos táctiles cuyas raíces están rodeadas de terminaciones nerviosas libres. Actúan como una palanca y posibilitan también la percepción de los movimientos del aire. Alcanzan especial longitud por encima de la boca de los depredadores nocturnos, algo que podemos comprobar en cualquier gato. Durante el avance en la oscuridad, el animal es advertido de la presencia de obstáculos antes de chocar con ellos. En la piel de los seres humanos, así como en la de algunos mamíferos y aves, algunas células sensoriales diferenciadas muy desarrolladas se han especializado en la percepción de la presión. Son las *células táctiles de Merkel*. Son esféricas y forman grupos, excitando una red de fibras nerviosas sobre las que presionan cuando se toca la piel. Además de esto, en el ser humano y en la mayoría de sus parientes mamíferos, encontramos órganos pluricelulares sensibles a la presión situados en la capa inferior de la hipodermis: los *corpúsculos táctiles de Meissner* y los *de Pacini*. Del primer tipo tenemos más de 100.000, de los cuales en la palma de la mano hay unos 15.000. Los corpúsculos de Pacini son ovalados, con una longitud de hasta 4 mm y un grosor de 2 mm, y están rodeados de tejido conjuntivo dispuesto en capas como en las cebollas. No sólo se

encuentran en la piel, en las cavidades musculosas, en las cápsulas articulares, en la pared de los grandes vasos y en el peritoneo. Allí señalan al sistema neurovegetativo las condiciones de presión internas. El hecho de que los osteoblastos sean también sensibles a la presión es consecuencia de que la estructura de las trabéculas óseas se orienta siempre en el sentido de la presión imperante. Los tentáculos de un pulpo y las manos del ser humano se convirtieron en órganos táctiles de grandes dimensiones. El ciego, que avanza palpando en la oscuridad, sabe hasta qué punto en la escala de los sentidos del ser humano el del tacto ocupa, tras el de la vista, la posición más importante. En la mayoría de los mamíferos, aunque también en algunos invertebrados, en especial los gasterópodos, el sentido del tacto se convirtió durante el apareamiento y el cuidado de la prole en un desencadenante de excitaciones positivas. Al acariciar y durante el acto sexual se transmiten estímulos que, considerados deseables, estimulan el comportamiento instintivo.

Incluso el contacto más delicado no transmite, ni de lejos, uno tan íntimo como el de eso tan misterioso que llamamos «calor». Casi de manera inevitable pasa de un cuerpo a otro. Antiguamente se creía que el calor era una sustancia sin peso que se transmitía a otros cuerpos por contacto o radiación. En 1841 el médico alemán Julius Robert Mayer logró desenmascarar esta curiosa sustancia. Consiguió demostrar que no existe. El calor es más bien una de las múltiples manifestaciones a través de las cuales se presenta la energía. Es energía de movimiento, es decir, energía cinética, energía mecánica. Se trata de movimiento desordenado y al azar de las partículas materiales más pequeñas que existen, los átomos y las moléculas. Cuanto más energía hay en su interior, tanto más agitadas se encuentran y tanto más vibran. Cuando se acercan a otras partículas, chocan con ellas, transmitiéndose una parte de su vibración, de su energía. El gran físico H. v. Helmholtz, igual que su no menos famoso colega inglés J. P. Joule, llegaron a las mismas conclusiones y las ampliaron, si bien no pudieron de reconocer los méritos fundamentales de su predecesor. Sólo tras veinte años de lucha desesperada se reconoció finalmente

el mérito de J. R. Mayer. Sin embargo, en 1827 el botánico R. Brown ya había detectado este movimiento vibratorio, si bien no en los átomos y las moléculas. No existe todavía ningún microscopio que permita la observación directa de estas unidades más pequeñas de materia. No obstante, con un aumento de 100 veces es posible ver el movimiento oscilatorio de las partículas de polvo que flotan en el seno de un líquido. Las moléculas de este último les transmiten sus choques. Este origen del movimiento llamado browniano fue descubierto más tarde, en 1905, por Einstein y W. Smoluchowski. Vieron en dicho movimiento una demostración inmediata del origen energético del calor, así como una prueba de la realidad de los propios átomos. La energía térmica tiene una posición clave, por cuanto en los pasos de un tipo de energía a otro una parte suya siempre se transforma en calor, es decir, en movimiento caótico de las partículas. El físico alemán Walther Nernst dedujo, a partir de ello, que tarde o temprano toda la energía capaz de realizar trabajo debería transformarse en calor, y que las diferencias de temperatura se igualarían. Denominó a esto «muerte térmica del Universo».

Nuestro cerebro es incapaz de imaginar, en especial en lo que se refiere al espacio y el tiempo, la finitud ni la infinitud. El principio del tiempo nos parece absurdo. Nuestro cerebro pregunta: ¿cómo? Antes de este inicio tuvo que existir algo. De manera análoga, el profano no puede imaginarse que debe existir una temperatura más baja. Sin quererlo, el cerebro vuelve a preguntar: ¿cómo? Si enfrío algo con ayuda de medios térmicos perfeccionados, tendrá que enfriarse todavía más. Sin embargo, de hecho existe un cero absoluto que equivale a una temperatura de –273,16°C. Esto pudo comprenderse gracias al conocimiento de que el calor es movimiento. El enfriamiento significa que los átomos y las moléculas vibran menos. A una temperatura de –273,16°C este movimiento desaparece por completo, motivo por el cual la temperatura no puede bajar más, ya que estas partículas pequeñas no pueden alcanzar un grado de inmovilidad superior al del reposo.

Entre los sentidos que reaccionan al contacto con otras materias, los llamados *sentidos mecánicos*, está asimismo la capacidad de percepción de la temperatura. En este caso percibimos la vibración de las partículas minúsculas de la materia que entran en contacto con nosotros y dicha vibración se transmite a las unidades de las que estamos compuestos. Si vibran más, esta oscilación se transmite a las nuestras con lo cual la sensación de calor es mayor. Si lo hacen menos, dicha oscilación se transmite a las nuestras y sentimos frío. Sin embargo, ¿cuándo apareció en la larga cadena de nuestros antepasados vertebrados, organismos unicelulares y estados previos, la percepción de esta interacción extraña? Respuesta: seguramente en época muy temprana. En los organismos unicelulares actuales se puede ver con claridad que cuando existen diferencias de temperatura buscan de forma activa la zona que les es más propicia. El citoplasma celular reacciona a las variaciones de temperatura. Si ésta aumenta diez grados, de acuerdo con la regla de Van-t'Hof se dobla la velocidad de reacción de los procesos químicos. Por eso no es extraño que la célula perciba desde el interior las variaciones de la temperatura. De este modo, todas las plantas la perciben. Entre los organismos pluricelulares organizados, determinadas células nerviosas se especializaron en esta tarea. Lo mismo que sus homologas encargadas de percibir la presión, perciben los estímulos mediante terminaciones sensoriales libres y las conducen, a través de ganglios intermediarios, hasta la médula espinal y el cerebro. Encontramos órganos pluricelulares perceptores de la temperatura en los crótalos. Algunos insectos están dotados de órganos de percepción de la temperatura en sus antenas, otros en los palpos bucales y otros en las patas. En la serie de nuestros antepasados, la diferenciación entre frío y caliente alcanzó una importancia especial cuando aparecieron los mamíferos, animales homeotermos, a partir de los antecesores reptilianos que eran de sangre fría, poiquilotermos, ya que para el mantenimiento de una temperatura corporal constante son condición indispensable tanto los sensores internos de control de la temperatura como los órganos sensoriales externos que la perciben. Se desarrollaron dos

tipos distintos de ramificaciones nerviosas en la piel: los *órganos de Ruffini*, que indican el calor, y los *corpúsculos de Krause*, que indican el frío. De estos últimos, nuestra piel tiene 8 veces más. Debido a que la sensibilidad de todas estas estructuras nerviosas para percibir diferencias de temperatura se basa en última instancia en la capacidad de percepción sensorial del protoplasma, el auténtico primer momento estelar en la evolución de este sentido mecánico se encuentra en la época en que apareció el protoplasma diferenciado. Las primeras células dotadas de núcleo, de cuya existencia sabemos a través de las impresiones fósiles que han dejado, vivieron hace 2.000 millones de años. Según esto, dicho momento estelar se remonta a una época anterior, es decir, aproximadamente a 3.000-2.500 millones de años.

Otro sentido mecánico cuyas indicaciones el cerebro no interpreta de manera objetiva es la percepción de la gravedad. El descubrimiento de Galileo de que la Tierra se mueve alrededor del Sol se combatió con tanta vehemencia debido en buena medida a que nuestro cerebro es incapaz de imaginarse que vivimos sobre una gran esfera con nuestras cabezas orientadas en todas direcciones. En la actualidad, cualquier escolar sabe que la Tierra es redonda, si bien seguramente nadie puede imaginarse que él mismo no se encuentra «arriba». Hace tiempo que venimos viendo a través de la televisión las actividades de los astronautas en el espacio ingrávido. Sin embargo, imaginar que en los antípodas, por ejemplo en Australia, las personas están sentadas patas arriba en sus escritorios o juegan cabeza abajo en la pista de tenis lanzando la pelota de un lado a otro, nos resulta imposible. Sin embargo, el hecho es que en el espacio no existe ningún arriba o abajo absolutos. Otro hecho es que nuestros órganos sensoriales nos hagan creer que esto es así. Subjetivamente no percibimos que nos atraiga una gran esfera sino simplemente que los objetos tienen «pesos» diferentes. Les asignamos una propiedad de la que, en el fondo, no están dotados, tal como se ve con claridad en el espacio. Con el peso no asociamos la atracción de la masa de un cuerpo sobre otro

sino su capacidad y violencia para «caerse». Abajo es para nosotros «abajo» y no el centro de la esfera terrestre que, debido a su masa mucho mayor que la nuestra, nos atrae en mayor medida que nosotros a ella. De hecho, también nosotros atraemos a la Tierra.

Vamos a contemplar ahora los órganos que nos indican la dirección de la atracción de la Tierra, cuándo aparecieron los primeros y qué relación guardan con los estímulos táctiles. Si nos ponemos de pie, la suela de nuestros zapatos presiona contra el suelo. Este estímulo es de contacto. Pero cuando un pez que nada o un ave que vuela, o nosotros en cualquier posición, percibe con claridad dónde está arriba y dónde está abajo, es decir, dónde está el centro de la Tierra, nos preguntamos entonces qué tiene que ver esto con los estímulos táctiles. La respuesta es evidente si pensamos en cuál puede ser la estructura de un órgano, qué estructura debe tener para indicar la dirección de la gravedad terrestre. Si encargásemos a un constructor la tarea de construir un órgano sensorial adecuado a esta operación, seguramente encontraría que se puede obtener un órgano de este tipo de modo relativamente sencillo. Su estructura sería la de una vejiga tapizada de células sensoriales en cuyo interior hubiese una pequeña esfera. Según el punto en que ésta presionase, ésa sería la dirección «hacia abajo». Allí se encuentra el centro desde el cual actúa la gravedad terrestre, el centro de la Tierra. Si en un cuerpo existe una vejiga como ésta, no importa en qué sitio, y dicho cuerpo gira, entonces la esfera modifica su posición y las células sensoriales de la pared de la vejiga que son excitadas pueden indicar en cada instante al cerebro la posición y el cambio.

Esta sencilla solución es precisamente a la que llegaron los animales de distintas líneas evolutivas. Mediante mutaciones se logró una disposición de este tipo de las células nerviosas así como la secreción de la necesaria esfera, de forma regular o no, construida de un material u otro, única o constituida por varios granitos, libre sobre los filamentos sensoriales o unida a ellos. En las medusas encontramos ya órganos de este tipo, sentidos de la gravedad o de la gravitación, llamados *estatocistos*.

En los ctenóforos, esta esfera, el *estatolito*, se encuentra en el interior de una vejiga colgada de cuatro haces de filamentos sensoriales. En los caracoles nadadores están libres, son relativamente grandes y de forma regular. En los peces son planos y presentan anillos de crecimiento anual lo mismo que el tronco de los árboles. Por lo general hay dos vejigas de este tipo provistas de estatolitos. En las vieiras las mutaciones condujeron a que en la vejiga izquierda se formase un estatolito grande y en la derecha uno pequeño. Un constructor consciente no hubiera actuado ciertamente de manera tan caprichosa. Sin embargo, esta especial construcción no supuso ninguna desventaja, por lo que se mantuvo. En las ascidias fijas al fondo marino, que pertenecen a nuestra propia línea evolutiva próxima, la larva libre presenta todavía un órgano sensible a la gravedad que, después, experimenta una regresión al fijarse al suelo, al igual que hacen los ojos, la cola y la notocorda. En los gasterópodos la vejiga del equilibrio, el *estatocisto*, se encuentra en el pie, y en los cefalópodos en la cabeza. En algunos crustáceos se encuentra situado en el basipodito, la pieza basal de la pinza, en otros en el telson. Mientras que los órganos fotosensibles, los ojos, deben situarse por lo general en las proximidades de la boca para poder realizar su función, nos encontramos en este caso con un órgano cuya situación es muy variable. La fuerza de la gravedad actúa sobre todo el cuerpo, por lo que puede transmitir sus informaciones al cerebro desde cualquier punto. En algunos animales reptantes no existe, ya que para ellos lo esencial es la superficie a la que se sujetan. Es interesante destacar que los insectos carecen de estos órganos del equilibrio. Con las patas perciben el peso al posarse. Además, sus alas están a una altura tal que el centro de gravedad se encuentra por debajo de su posición de inserción y de este modo hay un paso de información desde las alas al cerebro.

En la línea de nuestros antepasados las vesículas del equilibrio aparecen siempre en número par y se encuentran en la cabeza. Ya en nuestros antepasados los peces surgió, por ampliación, un órgano suplementario que aumenta todavía más la percepción de los cambios de posición. Se trata de tres canales

semicirculares situados de tal manera que discurren hacia arriba, a la izquierda y la derecha. Si la cabeza gira, el líquido contenido en ellos queda retrasado debido a la inercia, en tanto en cuanto el giro se produzca en su dirección, con lo que excita los filamentos de las células sensoriales situados en el interior de los canales e indica, de este modo, al cerebro los movimientos de giro. Esta mejora, que se mantuvo casi sin variaciones hasta el ser humano, podemos considerarla el momento estelar en el camino evolutivo de los órganos del equilibrio. Se produjo en la primera época de la evolución de los peces, hace aproximadamente 480-450 millones de años. Mientras que en los tiburones el estatolito sigue libre en el interior del estatocisto, en el ser humano se hizo más pequeño y aumentó su número y, lo mismo que en los ctenóforos, quedan unidos a los filamentos sensoriales. Si estamos tumbados de espaldas o un piloto vuela cabeza abajo, los estatolitos quedan colgando y no presionan sobre los filamentos sensoriales inferiores sino que tiran de los superiores. Los estímulos recibidos por los órganos del equilibrio pasan a través de metencéfalo hasta el cerebelo, que se especializó en la elaboración de dichas indicaciones y en su traducción en movimientos orientados del cuerpo. En las aves el órgano del equilibrio está muy desarrollado a causa de su modo de vida. El hecho de que en todos los animales con ojos, y por tanto también en nosotros, las indicaciones de éstos participen asimismo en la orientación espacial es evidente.

Mencionemos todavía un hecho curioso. En los decápodos el estatocisto del órgano del equilibrio no está cerrado sino que está comunicado con el exterior mediante un conducto. Estos crustáceos no generan un estatolito, sino que el animal introduce granos de arena o piedrecillas en ese canal. En lugar de estatolitos, mediante un comportamiento innato surge el aprovechamiento de un material apropiado del entorno, que se transforma de inmediato en componente de un órgano. Cuando estos crustáceos mudan, pierden también el revestimiento interno de dichos canales y el estatocisto, y con ello las piedrecillas que contiene. Por esa razón, tras la muda deben introducirse nuevas piedrecillas. Si se les coloca en un acuario con

limaduras de hierro, el animal las introduce en su órgano del equilibrio. Colocando un imán potente cerca de su cabeza, las limaduras de hierro son atraídas y las células sensoriales excitadas en el interior del estatocisto indican al animal un «arriba» y un «abajo» falsos, con lo que se coloca entonces de lado y sus patas quedan al aire, cayendo sobre el dorso. Los estudiantes ante los que se hace este experimento se ríen pero no se les ocurre que nuestro propio comportamiento no es mucho más inteligente. Disponemos de un enorme cerebro que nos permite realizar actos inteligentes pero, sin embargo, nos dejamos engañar como ese cangrejo. Lo que para él es el imán es para nosotros la esfera terrestre. Esta hace que, a pesar de nuestra inteligencia y nuestros conocimientos, creamos en un «arriba» y un «abajo» inexistentes.

El cuarto sentido mecánico por el cual percibimos cuanto se desarrolla en el exterior es el más importante para la evolución humana. Sin su ayuda no se hubiese podido desarrollar jamás la comunicación oral y, por consiguiente, es una base fundamental de nuestra evolución. Sin él seguramente no habría aparecido una de nuestras formas artísticas más preciosas, la música. Tras el sentido del tacto, que se convirtió en hermano del de la vista, después del sentido de la temperatura que pone de relieve las oscilaciones más finas de las partículas materiales, tras el sentido de la percepción de la gravedad terrestre y del movimiento en el espacio, que nos indica nuestra propia posición en el planeta, llegamos al sentido del oído, a través del cual llegan hasta nosotros informaciones desde grandes distancias. Lo hacen a través de las oscilaciones producidas al chocar una partícula material con otra y ésta transmite el choque a la siguiente. En el espacio vacío, o mejor dicho, en el espacio en el que hay poca materia, no hay sonido. En la superficie de la Luna, que carece de atmósfera, es imposible conversar o disfrutar de la música. En el seno de las aguas, el sonido se propagan con mayor rapidez que en el aire, si bien generarlo allí requiere mucha más energía. El sonido también se propaga en las rocas, aunque no puede alcanzar una gran distancia y no lo

hace de un modo regular. Se trata de oscilaciones que se propagan con una velocidad mucho mayor que la del calor y que se caracterizan por su gran regularidad. Se miden por las propiedades de sus ondas: el oído humano puede percibir aquellas comprendidas entre 16 y 20.000 hertz, es decir, aquellas para las que se producen entre dieciséis y veinte mil colisiones por segundo.

Las oscilaciones lentas las percibimos como «graves», las rápidas como «agudos». Las que son todavía más lentas y que no oímos, las denominamos infrasonidos. Y aquellas que son excesivamente rápidas para nuestro oído, *ultrasonidos,* igual que hacemos con las oscilaciones que son excesivamente cortas para nuestros ojos, que llamamos *ultravioletas,* y las demasiado largas, las *infrarrojas.* De lo que se trata en este caso es de la limitación de los «orificios» del ya mencionado saco al que nos parecemos. Durante nuestra percepción del sonido, además del número de colisiones por segundo también es importante la fuerza con la que se producen. Dicha fuerza se mide en *decibelios.* Si un sonido tiene una frecuencia audible para nosotros pero es demasiado débil, no es capaz de penetrar por el orificio de nuestra percepción auditiva. Si es fuerte pero se encuentra por fuera de nuestro umbral de audición, tampoco puede entrar.

¿Cuándo y cómo penetra el sonido en el aparato de percepción de los seres vivos? En el caso de nuestros antepasados peces, igual que en muchos otros animales pluricelulares, se percibían algunas ondas sonoras con el órgano del equilibrio. En los peces actuales todavía sucede así. La esfera que descansa sobre los filamentos sensoriales también puede indicar vibraciones. De este modo se produjo la ampliación de dicho órgano, que construyó simultáneamente un nuevo taller. Junto al estatocisto con sus estatolitos y los canales semicirculares, se desarrollaron cavidades revestidas de epitelio sensorial que alcanzaron tal grado de complejidad que todo el conjunto recibe el nombre de *laberinto* (tabla 12, fig. 1). Todos disponemos de dos de ellos, uno a la izquierda y otro a la derecha de 1a cabeza. En un principio estos órganos del equilibrio, en contraposición

con lo que sucede entre los decápodos, estaban aislados del exterior. Sólo a través de tejidos y huesos las ondas sonoras podían llegar hasta ellos. Sin embargo, pronto se produjo una comunicación con el mundo exterior a través de la primera hendidura branquial involucionada. Es probable que esto sucediera todavía en el medio acuático, mucho antes de que los primeros peces conquistasen la tierra firme. ¿Por qué quedó sin trabajo esta hendidura branquial y disponible para llevar a cabo otras tareas? Respuesta: porque entretanto el arco branquial anterior se había convertido en un borde de sujeción de la abertura bucal, la mandíbula: la mitad superior, en la mandíbula superior, y la inferior, en la mandíbula inferior, y entre ambas surgió una articulación, llamada la *articulación mandibular primitiva.* A partir del arco branquial anterior apareció también un borde mandibular articulado y de la primera hendidura branquial un estrecho conducto de comunicación con la cavidad bucal, el *espiráculo.* Los tiburones actuales presentan esta configuración, que aparece igual a como era en nuestros antepasados.

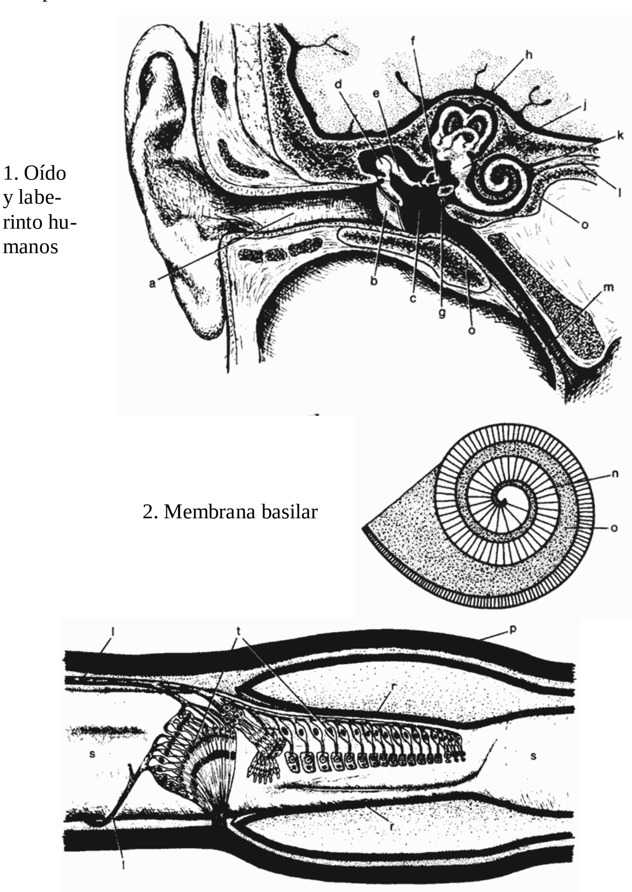
El siguiente paso fue la conquista de la tierra. El espiráculo perdió su sentido lo mismo que las branquias. Mientras que éstas quedaron sin ninguna función y por lo tanto experimentaron una gradual regresión, el espiráculo quedó cerrado con una membrana y desempeñó una función muy importante. Resultó ser adecuada para la percepción de ondas sonoras, convirtiéndose en el tímpano. Igual que un tambor puede generar sonidos, una membrana tensada los puede percibir y transmitirlos perfectamente. De este modo, en el laberinto aparecieron cavidades que se especializaron en la percepción del sonido y, al mismo tiempo, en los vertebrados que conquistaron la tierra firme surgió una membrana externa adecuada para la percepción de los sonidos. En medio se encontraba la primitiva articulación mandibular. Viene ahora una evolución muy curiosa y sorprendente.

TABLA 12. Cómo de un órgano del equilibrio, una branquia y una pata aparecieron órganos auditivos

Figuras: **1** oído y laberinto del ser humano, **2** esquema de la membrana basilar de la cóclea (caracol), **3** órgano auditivo del saltamontes, a = conducto auditivo externo, b = membrana timpánica, c = oído medio, d = martillo, e = yunque, f = estribo y ventana oval, g = ventana redonda, h = canales semircirculares, j = sáculo, k = cóclea (caracol), l = nervio auditivo, m= trompa de Eustaquio, n = membrana basilar, o = hueso p = cubierta quitinosa, r= invaginación cutánea, cuya pared de quitina se convirtió en tímpano, s = tubo traqueal ensanchado (representado en volumen), t = células sensoriales situadas en él.

El ser humano no es en modo alguno el resultado de una construcción dirigida, lo mismo que tampoco los restantes seres vivos. Nada lo demuestra con mayor claridad que el hecho de que los órganos vitales aparecieron a través de los rodeos más curiosos. El proceso de la vida sólo pudo continuarse mediante estructuras que adquieren energía y materia y con ello sintetizan nuevas estructuras orgánicas (pág. 281). Con ello se determina el modo como deben crearse los órganos del cuerpo. Lo que en este camino evolutivo sea más adecuado como material de construcción le es indiferente al «constructor de los seres vivos», cuyo nombre es *necesidad*. Para capturar las presas (energía y materia), los animales necesitan los órganos de los sentidos. Para ello utilizan la luz (tabla 4), lo mismo que las ondas sonoras. El aparato auditivo de los vertebrados surgió a través de sorprendentes caminos. La evolución comenzó hace unos 430 millones de años, cuando en los peces desprovistos de mandíbulas (los *agnatos)* el arco cartilaginoso anterior de sus branquias se transformó en una mandíbula. Se formó una articulación mandibular primitiva y la primera hendidura branquial, ahora desprovista de función, se convirtió en el *espiráculo* que todavía muestran hoy los tiburones y las rayas. En la siguiente etapa, se formaron las mandíbulas óseas con una segunda articulación mandibular. La articulación primitiva perdió su función e involucionó. Parte de sus restos se convirtieron con el tiempo en los huesecillos del oído: martillo, yunque y estribo (d, e, f), gracias a los cuales el melómano puede disfrutar de la música. El espiráculo pasó a ser conducto auditivo, más tarde oído medio y trompa de Eustaquio (c, m). Con la conquista de la tierra firme, este conducto se aisló del exterior mediante una membrana de la que surgió el tímpano (b). Una parte del órgano del equilibrio se amplió para dar la cóclea (caracol) (k), convirtiéndose en el órgano analizador de los sonidos. Estas transformaciones nos las muestra el desarrollo de los embriones de todos los vertebrados, incluidos los seres humanos (páginas 156-158). En el saltamontes (3) unas invaginaciones de la pata recubierta de quitina se convirtieron en tímpano que recoge las ondas sonoras. Está situado anexo a una tráquea ensanchada, es decir, un órgano respiratorio, de la que se formó

un órgano auditivo con células sensoriales (t) que a través de fibras de diferentes longitudes, como en la membrana basilar de la cóclea (2, n), podía distinguir diversos sonidos. También en este caso la materia constituyente tuvo una importancia secundaria. También en este caso la función requerida, o sea, la necesidad, dictó el camino que debía seguir la diferenciación de las células participantes.



1. Oído y laberinto humanos

2. Membrana basilar

3. Órgano auditivo del saltamontes

Las mandíbulas primarias, que eran cartilaginosas, fueron siendo sustituidas poco a poco por tejido óseo, apareciendo así las mandíbulas que tienen hoy todos los mamíferos y también nosotros. Apareció asimismo una nueva articulación mandibular. ¿Qué sucedió, sin embargo, con los arcos branquiales que sujetaban las branquias y que habían quedado sin función, y con la articulación mandibular primaria que también había quedado sin trabajo? Ya que el primer arco mandibular resultó ser muy fácilmente transformable, el segundo cambio sucedió de modo parecido. La parte inferior se convirtió en un elemento de apoyo de la lengua y la superior en un pequeño hueso que une el tímpano con el laberinto, cerrado hasta entonces, y de este modo transmite al líquido que contiene las ondas sonoras percibidas por el tímpano. Esta evolución tan sorprendente como memorable es el momento estelar de la evolución de nuestro órgano auditivo. De una parte del arco branquial surgió el transmisor de sonido entre el tímpano y el laberinto. Este primer huesecillo del oído recibe el nombre de *columella,* puesto que tiene el aspecto de una pequeña columna. Su aparición, es decir, el cuarto momento estelar en la evolución de nuestros sentidos mecánicos, se remonta a 380-340 millones de años.

La evolución posterior no es menos sorprendente, aunque resulta más sencilla de explicar. Mientras que en todos los anfibios y reptiles el tímpano sigue situado en la pared exterior del cuerpo, en nuestros antecesores mamíferos se desplazó hacia el interior, donde queda más protegido, de modo que apareció un conducto auditivo externo. En el laberinto se amplió la cavidad encargada de la percepción del sonido, la *lagena,* convirtiéndose en un tubo largo que en nuestros antecesores mamíferos se alargó todavía más y se enrolló como un caracol (tabla 12, figs. 1 y 2). En su interior se desarrolló una membrana formada por diversas fibras largas y que oscila cuando llegan a ella ondas sonoras de frecuencias diferentes. Por encima suyo se disponen células sensoriales y se superpone otra membrana que la toca. Cuando la membrana inferior oscila, las células sensoriales que se encuentran sobre ella tocan con sus

filamentos la membrana superior, se excitan y envían la información al cerebro. De este modo, expuesto de manera simplificada, se descomponen, y analizan, todas las ondas sonoras en sus componentes. Las diversas fibras de distintas longitudes de la membrana en forma de caracol que conduce hacia arriba, oscilan de modo caprichoso como las cuerdas de un piano y excitan diversas células sensoriales, con lo que se produce en el cerebro un discernimiento diferenciado de los tonos percibidos, que se lleva a cabo en centros especializados en el análisis del sonido y que se encuentran en la corteza cerebral.

Lo más notable es que la sorprendente remodelación prosiguió un paso más. Como ya hemos señalado, la articulación inicial de la mandíbula, la *articulación mandibular primitiva* que había quedado sin función y que todavía existe en los tiburones, involucionó poco a poco. En la parte inferior de esta articulación se formó, sin embargo, otro huesecillo auditivo, el martillo. De la parte superior emergió un tercero, el yunque. La *columella* experimentó también un cambio de forma. Se convirtió en el estribo que establece el contacto con el laberinto. De este modo, apareció una cadena de tres huesecillos, los más pequeños de nuestro cuerpo, a través de la cual los sonidos se pueden transmitir hasta la sección del laberinto encargada de su percepción todavía mejor que a través de la *columella* original. La cadena de huesecillos mejora la transmisión del sonido, desde el aire hasta el líquido del laberinto, con lo que se puede distinguir mejor en el oído interno. Por último, se formó el pabellón auricular, la oreja, que conduce las ondas sonoras como un embudo hacia el orificio de entrada. En nuestros antepasados todavía estaba dotado de movilidad, en nosotros es fijo.

No puede aceptarse que una evolución planificada tuviese como meta la formación de este órgano auditivo, que surgió más bien como ampliación de otro, el órgano de la gravedad, y mediante la incorporación de partes del órgano respiratorio original que habían quedado sin función alguna. La primera hendidura branquial que había perdido su función adquirió de nuevo utilidad y el primer arco branquial, inicialmente transformado en mandíbula, dio lugar, durante la involución de su

articulación, a los huesecillos de nuestro oído. Lo tercero lo brindó el segundo arco branquial que ya había quedado superfluo. Quien no lo crea, quien piense que todo esto es una fantasía, que consulte cualquier manual de zoología o, mejor, que se informe acerca del desarrollo embrionario del ser humano y de sus parientes mamíferos en cuya evolución quedan hoy sus huellas, en la que todavía pueden seguirse sus pasos. Quien quiera, al igual que hacen hoy algunos investigadores, rescatar el camino de la creación voluntaria del ser humano, tiene que explicar la transformación de la articulación mandibular primaria en huesecillos auditivos como pasos constructivos inteligentes y consecutivos, es decir, debe defender que las mandíbulas originarias junto con su articulación involucionaron para formar un órgano auditivo y que por ese motivo tuvo que aparecer una segunda mandíbula. Sin embargo, esto es sencillamente absurdo.

En los peces pulmonados que volvieron al mar y transformaron su pulmón en una vejiga natatoria, los actuales teleósteos, se produjo un tipo de percepción del sonido igualmente curioso. La vejiga natatoria, un órgano para la regulación del movimiento y que procedía de un órgano respiratorio (pág. 8), se transformó de modo secundario en un tímpano que percibe las ondas sonoras. También en este caso se formaron huesecillos, llamados *aparato de Weber*, que transmiten las oscilaciones a través de rodeos hasta la sección inferior del órgano de equilibrio especializada en la percepción del sonido.

En los saltamontes apareció un órgano auditivo en las patas. En este caso hay también una membrana que percibe las ondas sonoras y las conduce hasta células sensoriales dotadas de pequeños filamentos que, de modo muy similar al caracol de nuestro oído, son excitados por fibras de diversas longitudes (tabla 12, fig. 3).

Con esto no hemos llegado todavía al final del comentario acerca de nuestros sentidos mecánicos, que introducen en nuestro interior a través de un orificio u otro informaciones útiles sobre el mundo exterior. Vamos a tratar un quinto sentido, cu-

yos servicios nos son no menos importantes. Si los efectos mecánicos actúan sobre nuestro cuerpo con excesiva fuerza, dañan nuestra estructura celular y reaccionamos de otra forma, experimentamos «dolor». ¿Cuándo comenzó este sentido?

Podemos reconocer en los organismos unicelulares lesionados reacciones violentas, pero no sabemos si experimentan el dolor. No podemos hablar con ellos, no podemos «correlacionarnos» con ellos. De todos modos, en el estudio de animales superiores se ha averiguado que el dolor es producido por sustancias que se liberan del interior de la célula al producirse la lesión. Por esta razón podemos considerar como instante de nacimiento del sentido del dolor, aquel momento en que células sensoriales con terminaciones libres se especializaron en la percepción de dichas sustancias. El hecho de que los nervios no son muy sensibles al dolor lo demuestra con claridad el cerebro humano, la mayor reunión de células nerviosas existente. Se pueden practicar en él intervenciones quirúrgicas sin la necesidad de anestesia, debido a que únicamente las membranas que lo envuelven, y no la estructura nerviosa en sí misma, son sensibles al dolor. En los animales dotados de una coraza externa, la percepción del dolor carece de valor biológico, motivo por el cual no apareció. Lo podemos ver muy bien en los insectos, como nos muestra un brutal experimento que se repite con frecuencia. Si se le corta con unas tijeras cuidadosamente el abdomen a una abeja que está bebiendo, continúa haciéndolo sin percibirse de ello. El líquido que bebe sigue fluyendo por la zona de corte. Cuando menor es la coraza y, por tanto, mayor la cantidad de partes susceptibles de ser lesionadas, tanto mayor es la importancia de la experimentación del dolor, que puede desencadenar de manera refleja la huida, un comportamiento de defensa o un contraataque. Éste es el caso sobre todo del ser humano, que no está protegido con un grueso pelaje, es decir, una coraza de pelos, como sucede en sus parientes mamíferos. En nuestra piel existen aproximadamente 170 puntos de dolor (nociceptores) por centímetro cuadrado frente a los 22 receptores de la presión. Las magulladuras y los rasguños se

perciben con claridad en los nociceptores musculares. En algunos de nuestros órganos internos existen zonas, por ejemplo el periostio, que están especializadas en la percepción del dolor.

Los dolores del alma son también un fenómeno del sistema nervioso. Aparecen, al menos en los vertebrados superiores, como consecuencia de instintos que no pueden realizarse. Los mamíferos, que tienen un psiquismo superior, muestran con claridad el hecho de que estas experiencias internas negativas pueden conducir a claras experiencias dolorosas. El hecho de que un perro o un simio sea capaz de sentir un dolor psíquico no debería ofrecer ninguna duda. No se conoce todavía a través de qué mecanismos aparece una sensación dolorosa de este tipo. Sin embargo, se sabe con certeza que se produce en una parte del diencéfalo, en el tálamo. Los instintos ligados a sensaciones placenteras también se producen allí. En el ser humano la actividad mental consciente se transformó en una variada fuente de dolores y alegrías, que llamamos espirituales y que se producen asimismo en el tálamo. Todas las sensaciones que, procedentes del exterior y del interior del cuerpo, nos afectan, pasan a través de esta gran central nerviosa hasta el cerebro y se dotan durante el proceso de sensaciones de placer o displacer. La aparición de este tipo de dolor, vinculado a nuestras sensaciones más altas, la consideraremos como el quinto y último momento estelar en el camino evolutivo de nuestros sentidos mecánicos. Se superpone a la aparición de nuestro pensamiento consciente y la capacidad de deducción, a nuestra conciencia del yo, y se remonta con ello apenas a hace 4-2 millones de años. Puede argumentarse aquí que esta sensación está muy por encima de las demás y que no se la puede equiparar con ellas. Por otro lado, se trata sin duda del efecto de un contacto con la materia del entorno, con la situación del medio. Nuestros semejantes son también entorno y están formados asimismo por materia. La variación de su comportamiento y de sus reacciones se basa sin duda en una función mucho más compleja que la que se desarrolla cuando nos cortamos un dedo o nos rompemos un hueso. De todos modos, no existe un paso de principio sino un avance gradual. Si perdemos una mano o

nuestros bienes, en cualquier caso se reduce nuestro potencial, se nos hace un daño. Reaccionamos ante ambas cosas de idéntica manera, lo que se expresa con mucha claridad en el concepto que las engloba, «dolor». La pérdida del amigo o la vulneración de nuestros más altos ideales nos producen dolor. Esta es una sensación que, a través del estadio intermedio de los instintos, experimentó una especial diferenciación en el ser humano que piensa conscientemente.

Sin embargo, puede argumentarse que el dolor no sólo viene desencadenado por un efecto mecánico, un mordisco, una caída, el calor o la pérdida. Los efectos eléctricos o químicos, así como las enfermedades orgánicas, producen dolor y esto nos conduce ya al siguiente capítulo. Dado que un elevado porcentaje de todos los efectos que nos producen dolor se origina por efectos mecánicos mediante materia extraña, no es incorrecto alinear este sentido también en el grupo de los restantes sentidos mecánicos por los que percibimos la presión, la temperatura, la atracción de la Tierra y el sonido.

X. ÓRGANOS QUÍMICOS

No menos instructivos para la valoración de nuestro propio yo son los denominados órganos químicos, entre los que sólo se suelen incluir los sentidos del olfato y del gusto. En realidad, la propiedad de la materia de ponerse en contacto con otra materia o resultar alterada por ella, así como de ser alterada en su estructura más íntima, es mucho más antigua que la aparición de la vida. Esta capacidad la tienen prácticamente todos los átomos y moléculas, ya se trate de un guijarro, una gota de agua o una nube.

Toda la materia está constituida por átomos, cada uno de los cuales tiene un núcleo alrededor del cual giran, a una mayor o menor distancia, varios electrones. Se habla en este caso de *capas electrónicas*. La envoltura externa de un átomo está compuesta por nubes de electrones de intensa actividad eléctrica. Si dos átomos chocan entre sí, las «envolturas» de ambos se ven afectadas: se atraen o se repelen, se interpenetran o se deforman. Si durante este proceso los átomos se unen para constituir unidades mayores, las moléculas, las envolturas electrónicas se funden para dar lugar a una nueva que forma entonces la superficie de la molécula y está dotada de determinadas propiedades eléctricas. La química es la ciencia que se ocupa de dichas propiedades, motivo por el cual la percepción de dichas propiedades por parte de los seres vivos recibe el nombre de *percepción sensorial química*. Este nombre no es demasiado afortunado, ya que el lego no permite deducir de él el tema del que en realidad se trata, que es la interacción entre envolturas electrónicas, la percepción de las propiedades eléctricas de otras moléculas.

De hecho, el proceso de la vida es, sobre todo, un acontecimiento molecular. Si observamos un animal o un ser humano, sus órganos visibles, como los ojos, las patas o la boca, nos parecen lo más esencial. Las células invisibles que componen

estas unidades son sus componentes, y las partes que forman las células los componentes de éstas. Por consiguiente, esto es lo esencial. Las partes son tan sólo sus componentes. De nuevo nuestro yo se encuentra presa de un prejuicio, producto de nuestra percepción sensorial y del tipo de interpretación que el ser humano le da desde hace miles de años. Lo que en realidad hay en el centro de este acontecimiento son procesos moleculares. Las moléculas que intervienen en él no son en modo alguno meros componentes, sino causas. Se diferencian entre sí dando lugar a estructuras cada vez más complejas, de las cuales algunas se conservan y reproducen y otras no. Las que lo hacen las denominamos seres vivos, y nosotros mismos somos una estructura de este tipo que continúa el fenómeno de la vida y lo amplía. Incluso en colonias celulares tan gigantescas como las plantas superiores, los animales y el ser humano, las funciones esenciales se llevan a cabo a nivel molecular.

En el capítulo de la reproducción dijimos ya que el material genético es una estructura molecular. De igual modo, en la nutrición la boca pluricelular y el tubo digestivo, también pluricelular, son sólo estructuras auxiliares. El proceso esencial se realiza en el interior de las células, dentro de las unidades llamadas mitocondrias y ribosomas (tabla 20). El ojo pluricelular no es asimismo más que un dispositivo auxiliar de este proceso que facilita la búsqueda del alimento. Lo importante, lo esencial, no es el aspecto del conjunto, el cuerpo como un todo, sino una disposición determinada de moléculas cuyas acciones se amplían a través de estructuras cada vez mayores. El ser humano, sin embargo, no es una «gran planta química» como se afirma a menudo de modo bastante confuso, sino que las interacciones químicas en las moléculas conducen a un proceso de desarrollo y que unas estructuras adecuadas, las plantas, los animales y los seres humanos, continúan.

Si contemplamos desde este punto de vista los sentidos químicos, llegamos a su primer modo de actuación, a modo de moléculas extrañas con sus nubes de electrones que originaron, en un portador de vida, reacciones que fueron necesarias para su posterior evolución. Así, el primer momento estelar de esta

evolución debe situarse en época muy lejana, remontarse casi al momento de la aparición de la vida, es decir, a hace unos 4.000 millones de años. Como se supone hoy y puede seguirse experimentalmente, los primeros portadores de vida actuaron como catalizadores, como consecutores de la multiplicación de la propia estructura. En el caldo primigenio de océano de aquellos tiempos actuaron de tal modo con la materia extraña, que encontraron que algunas de las moléculas se les unieron y aumentaron así su estructura, o bien que les ayudaron a formar otros portadores de vida semejantes. Podemos concebir esto como la forma primigenia de reproducción y nutrición y ver en la capacidad de reaccionar frente a determinadas moléculas el origen de un «sentido químico». Este intervalo del desarrollo de la vida se llama hoy evolución química, lo que coincide con la concepción expuesta. Lo que no coincide es la costumbre de separar la evolución química de la evolución biológica. Nos encontramos en este caso frente al mismo suceso que se expande. Se extendió desde el principio a través de estructuras moleculares que se hicieron cada vez más complejas y obtuvieron nuevas capacidades, especializándose algunas de sus partes en funciones concretas, si bien hasta la aparición de la célula e incluso después de ella, a lo largo de toda la evolución de los organismos pluricelulares, los procesos moleculares siguieron siendo el centro de los fenómenos.

En el marco de estas diferenciaciones se produjo el fenómeno de que algunas secciones de las células primitivas se especializaron en la percepción, es decir, en dejarse excitar por determinadas moléculas que entraban en contacto con ella. Esta célula primitiva, o arqueocito, obtuvo así información positiva y negativa de su medio. De tipo positivo fueron aquellas que permitían reconocer por esta reacción el alimento o un medio favorable. Las negativas avisaban al organismo de los enemigos y de un medio desfavorable. Mientras que los primeros cuerpos vivos poseían la capacidad de reaccionar ante las características de otras moléculas gracias a las nubes electrónicas que las circundaban, más tarde otras secciones se responsabilizaron de esta excitabilidad, y la reacción del cuerpo ya no

se produjo de modo inmediato sino mediado a través de reacciones de todo el cuerpo. Llamar a esta reacción «sentido del olfato» o «del gusto» es todavía prematuro. Debido a las interacciones de las que aquí se trata, el nombre de «sentido químico» es más correcto, en especial suponiendo que no conduce a asociaciones falsas y que en este caso no se percibe radiación o contacto corporal sino la particularidad de las nubes electrónicas que envuelven las moléculas que se aproximan y la de las fuerzas eléctricas que parten de ellas.

El segundo momento estelar en este campo evolutivo se produce, por consiguiente, también en época muy temprana y puede situarse en el período que se extendió hace aproximadamente 3.500-3.000 millones de años. En la pared de los arqueocitos aparecieron áreas que reaccionaban a la actividad de determinadas moléculas. Los organismos celulares actuales, que nos permiten hacernos una idea de estos primeros estadios evolutivos, muestran con claridad este sentido químico. De este modo, las amebas no sólo reaccionan a la luz, la presión o la oscilación de materia ajena sino también ante aquellas propiedades de las moléculas que denominamos *químicas*, debido a que caen dentro del campo del estudio de la química. El posterior desarrollo se produjo por las mismas vías que en el caso de los restantes órganos de las plantas y los animales. Cuando los organismos unicelulares pasaron a constituir organismos pluricelulares, algunas de las células volvieron a especializarse en esta tarea en el seno de estas comunidades (tabla 13, fig. 1). Se especializaron en el análisis de las propiedades de las moléculas que se les acercaban o de trozos mayores de materia, con lo que se convirtieron en receptores de un sentido químico y transmitían información a otras unidades de la colonia celular a la que pertenecían. Es ahora cuando se separan el olfato y el gusto a causa de los estímulos percibidos, es decir, recibidos. Se denomina olor a la percepción a distancia. El alimento, los enemigos y la pareja delatan su presencia mediante sustancias que segregan y gracias a las cuales se les puede reconocer. En el caso de la presa viva y de los enemigos, es una interacción

no deseada, para sus intereses sería mucho mejor no ser reconocidos. En el caso del congénere, y en especial en el de la pareja sexual, las moléculas segregadas, como portadores de determinados efectos, de un «olor» concreto, se transformaron en una señal útil para ambas partes. En este sentido se desarrollaron órganos, las glándulas, que producen dichas sustancias de reconocimiento y que excitan los órganos sensoriales del compañero sexual cuando las percibe. Éste es el efecto a distancia del sentido químico. En segundo lugar, otras células se especializaron en la percepción próxima de propiedades moleculares, para la comprobación de la presa capturada. A esto lo denominamos *sentido del gusto*, en la acepción propia del término. Se comprueba el valor y el contenido energético y material de la materia obtenida por los organismos animales. No todo lo que un animal captura con su boca le es necesario o le sirve, por lo que es importante disponer de la capacidad de diferenciación. Por consiguiente, los dos órganos especializados de la percepción englobados bajo el nombre común de sentidos químicos se desdoblan en este punto. En los animales acuáticos ambas funciones desempeñan ya un papel importante, si bien suelen ser percibidas por células sensoriales indistinguibles en cuanto a su estructura. Algunas se concentran en la zona bucal y otras se extienden por toda la superficie del cuerpo. No obstante, no existe una separación estricta entre ellas. En los gusanos, las células sensoriales están dispersas por todo el cuerpo, y reaccionan tanto ante influencias próximas como lejanas, es decir, perciben tanto el *olor* como el *sabor*. Los peces cartilaginosos, tiburones y rayas, han desarrollado por encima de la boca órganos olfatorios especiales, mientras que los gustativos se formaron en su interior. Sin embargo, no se ha producido todavía una división clara del trabajo. Incluso en los peces cartilaginosos, que derivan de los peces pulmonados que respiran aire, la situación no está todavía clara y no brinda una visión global. En muchos peces encontramos papilas gustativas, esparcidas por toda la superficie de su cuerpo. Sólo en tierra firme, debido a las condiciones completamente distintas allí

reinantes, se produjo una clara separación entre lo que llamamos *sentido del olfato* y *sentido del gusto*. Pero de momento no hemos llegado hasta aquí, puesto que queda por mencionar una de las tareas del sentido químico, que incluso en los textos de biología y zoología suele pasarse por alto. Tiene incluso una importancia especial y su aparición supone, por lo tanto, un momento estelar propio.

Ya en los órganos sensoriales de percepción de la presión y del olor vimos que no sólo aparecen en la superficie de los animales y de nuestro propio cuerpo, sino también en su interior. Estos órganos que informan al sistema nervioso central de lo que sucede en los órganos y cuyas directrices son necesarias para mantenerlos en funcionamiento, para permitir el desarrollo de sus funciones, reciben el nombre de *proprioceptores*. En el ámbito óptico no existen órganos sensoriales internos de este tipo, ya que los rayos de luz apenas pueden propagarse en el interior del cuerpo, pues tan sólo son capaces de atravesar el de los más pequeños organismos vivos transparentes. Los órganos sensoriales que reaccionan a los estímulos luminosos serían una inversión equivocada. Incluso si se formasen, no podrían dar a la colonia celular a la que pertenecen mayor capacidad vital y de competencia de la que poseen. La situación es completamente distinta en el caso de la percepción de los estímulos químicos. Como ya hemos señalado antes, en las plantas pluricelulares y en los animales la diferenciación de las células que se forman descansa sobre sustancias inhibidoras. Cada una de estas células contiene el mismo material genético que lleva todas las instrucciones necesarias para la colonia. Que unas células se especialicen en una tarea y otras en otra diferente, es decir, que se diferencien en estructura y comportamiento, se debe a las sustancias inhibidoras que inutilizan dentro de la célula una parte de material genético y en otra, otra distinta. ¿Cómo se imparten estas directrices? ¿Cómo se ordena a la célula «A» que se especialice en una función y a la célula «B» que participe en la formación de un órgano completamente distinto? Para ello se necesita un correo neumático interno, que apareció mucho antes de que surgiera la primera estructura del

sistema nervioso. Dicho correo se basa en sustancias que determinadas células de la asociación celular segregan y que ejercen sobre otras acciones concretas. Para ello estas otras células deben percibir de algún modo, es decir, reconocer, que el mensaje va dirigido a ellas y no a otras células, o sea, deben ser capaces de percibir señales químicas o, dicho de otro modo, reaccionar ante determinadas moléculas que actúan como cartas en este correo y que van dirigidas a ellas. La aparición de los primeros organismos pluricelulares se remonta aproximadamente a hace 1.800 millones de años, por lo que no resulta fácil reconstruir lo que sucedió en aquel entonces. Dado que, entretanto, la situación se ha mantenido prácticamente inalterada incluso en los organismos pluricelulares más grandes, como el abeto, el elefante o el ser humano, podemos leer en los representantes actuales lo que sucedió entonces, los progresos que se produjeron y las funciones en que se basaron.

El estudio de los tejidos orgánicos ha demostrado que existe efectivamente un correo de este tipo, que envía de una célula a otra determinadas órdenes que son cumplidas por otras células. Esta capacidad, de tanta importancia, requiere que la pared celular reconozca este correo, es decir, moléculas sueltas, y permita su entrada en el interior de la célula. ¿Cómo se produce esto? A este respecto disponemos de resultados muy concluyentes de la investigación. Al igual que en los organismos unicelulares, la pared celular dispone de dispositivos especializados que permiten el paso de determinadas sustancias e impiden el de otras. Se habla de una permeabilidad selectiva. De todos modos, en la pared de las células no existen aberturas especiales que permitan el paso a sustancias con formas concretas, como por ejemplo moléculas. Se trata más bien de mecanismos que se ocupan de realizar sus funciones mediante el consumo de energía. En algunos tejidos se ha demostrado que dichos mecanismos permiten la entrada al interior de la célula sólo a determinadas sustancias y también en instantes concretos. Una vez en el interior, actúan directa o indirectamente sobre el material genético activando una u otra sección o sintetizando de-

terminadas sustancias En las células vegetales, que están revestidas de una capa rígida de celulosa, la *semipermeabilidad* desempeña un papel especial. Las sustancias disolventes, sobre todo el agua, se incorporan con facilidad al interior de la célula y las disueltas en ellas deben permanecer, si no son deseadas, en su exterior. Si la concentración fuera de la célula es mayor que en su interior, este proceso debe actuar en contra de la concentración, contra el *gradiente osmótico,* lo que sólo es posible con un considerable consumo de energía. En el cuerpo de los animales pluricelulares se producen constantemente procesos selectivos de este tipo: algunas sustancias actúan como estímulos y son aceptadas, a otras no se les permite la entrada, por mucho que presionen a la célula. La concentración de líquido en el interior de las células vegetales tiene especial importancia, ya que les dota de la necesaria *turgencia,* la tensión requerida para dar sostén y apoyo a otras células. En todos estos casos, en el interior de la comunidad celular se producen determinadas sustancias que ponen en marcha ciertas reacciones. El sentido del olfato y del gusto dirigidos hacia el exterior se contraponen, por consiguiente, en las colonias celulares de los organismos pluricelulares vegetales y animales, a un *sentido del olfato* interno. De manera paralela a su evolución, se puede producir la formación de sustancias correo especializadas, de las que hablaremos en un capítulo posterior. De lo que aquí se trata es de reconocer que el sentido químico que se dividió frente al entorno en uno del olfato y otro del gusto, tiene en el interior del cuerpo una importancia incluso mayor que en el exterior, convirtiéndose en un medio auxiliar necesario para la diferenciación celular, en un medio auxiliar de la organización interna

La aparición de esta función sensorial, que se inició con la diferenciación celular de los metazoos, fue el tercer momento estelar en la evolución de la percepción de los estímulos químicos. Tuvo lugar hace 1.700-1.500 millones de años. A través de los intersticios entre las paredes celulares se difundieron sustancias que, según las instrucciones fijas en su material genético, condujeron en cada célula a determinadas reacciones.

En los organismos pluricelulares el material genético, en forma de una larga molécula de ADN, es un conjunto de unidades que se repiten multitud de veces. No sólo determina lo que debe suceder, sino también cuáles de sus órdenes deben impedirse. La conexión telefónica necesaria para ello se produce mediante sustancias a través de moléculas y su percepción, es decir, por el olor, o por así decirlo, a través de un olor interno. Por medio de millares de signos fluye de una célula a otra, de un grupo celular a otro, sin que tengamos noticia de ello, sin que nuestro orgulloso yo lo sospeche lo más mínimo. Percibe la fragancia de una rosa y valora el sabor de las frambuesas o de la salsa para la ensalada. Sin embargo, no sospecha que nuestro orgulloso cuerpo (los huesos, los ojos, el corazón, las orejas, el hígado, la mano) surge gracias a signos olfativos.

El estudio en profundidad de los diferentes pasos del desarrollo de un embrión en los animales pluricelulares nos brinda una visión especial de la conexión telefónica, que apareció mucho antes de que lo hiciese el sistema nervioso. El biólogo alemán Hans Spemann, que fue galardonado en 1935 con el premio Nobel por estos experimentos, trasplantó a la región ventral de un embrión de tritón la parte de otro embrión de tritón de la que suele surgir el notocordio. Y mira por dónde, en el vientre del primer embrión surgió un eje como base para la posterior columna vertebral, la médula espinal y la cabeza. Mientras que en el caso del trasplante de otras porciones su desarrollo se orientaba según las directrices de la zona que las rodeaba, se había trasplantado en este caso un grupo de células dotadas de funciones organizadoras que obligaba a las células circundantes, mediante señales *químicas,* a obedecer sus dictados. O expresado con mayor propiedad, mediante sustancias que actuaban como mensajeras o transmisores de órdenes. Evidentemente, en el embrión humano no pueden realizarse experimentos de este tipo, aunque conducirían a resultados muy parecidos. Dentro de este contexto son también interesantes los procesos de regeneración. Algunos gusanos inferiores, en especial los turbelarios, se pueden cortar en diversos trozos, cada uno de los cuales completa después las partes restantes del cuerpo.

Así, a partir de un único turbelario pueden obtenerse diez, aunque cada uno de ellos sea más pequeño. En otros animales, aunque no puede restituirse la cabeza, sí puede hacerse con órganos o parte de las extremidades. El material genético de las células puede influir, mediante señales adecuadas, sobre la comunidad celular restante. Esto lo hace mediante sustancias ante las cuales dichas células reaccionan, debido a la percepción de «olores» intracorporales. También la célula nerviosa que se forma en la médula espinal y en el cerebro y sus neuritas, las prolongaciones transmisoras de órdenes que envía hacia esos órganos, que asimismo les imparten órdenes, realizan esta función mediante el «olor». Todo órgano en formación vierte al cuerpo las sustancias que conducen a las terminaciones nerviosas que les darán más tarde las órdenes. Las células seminales masculinas, los espermatozoides, no llegan al óvulo por simple casualidad, a través de la multitud de otros espermatozoides, sino gracias a la ayuda de sustancias «olorosas» que perciben y les indican el camino.

En las conversaciones normales entre los seres humanos, estos procesos no desempeñan un papel importante. Tiene mucha más importancia lo que dice un jefe de Estado, lo que cuenta una vecina, lo que se ha planeado para las vacaciones del verano. Vuelve a quedar así de manifiesto la poca correspondencia que existe entre el yo y las partes que lo constituyen. Incluso la unidad temporal es totalmente distinta. La interacción entre diversas moléculas, su interacción química, se desarrolla en centésimas y milésimas de segundo. Billones de estos procesos, de los que nada sospechamos, se producen en nuestro cuerpo sin que nuestro yo, que está constituido por ellos, se entere.

Pero volvamos al camino evolutivo de nuestros antepasados. Ha llegado el gran momento: los primeros peces colonizan la tierra firme. Desarrollan un pulmón, y a partir de peces pulmonados, como los que existen hoy, aparecen los anfibios. ¿A través de qué orificio se inhala del aire? El primero disponible es la boca. Dado que el saco pulmonar se forma a partir de una evaginación del tubo digestivo, la boca está predestinada a esta

función. Evidentemente, con reservas, ya que cuando se ingiere el alimento se perturba el proceso respiratorio. Sin embargo, existe otra posibilidad. Los peces cartilaginosos, los tiburones y las rayas presentan ya un canal que va desde las fosas olfativas por encima de la boca hasta ésta. De esta manera el agua puede pasar junto a los tejidos sensibles a los olores y acceder a la boca. En los peces pulmonados estos canales se han convertido en conductos. La función respiratoria es más adecuada para oler que para comer. De este modo surge una vía doble, a través de la cual el aire puede entrar o salir de los pulmones a través de la boca o de la nariz. Los orificios que conectan las cavidades nasal y bucal se denominan *coanas*. Esto es, por así decirlo, sólo la solución al problema anterior. En el lado ventral del tubo digestivo apareció el pulmón como una evaginación. Dado que en tierra firme resultó ser muy útil, todas las mutaciones que lo ampliaron y mejoraron eran ventajosas, por lo que aumentó de tamaño y, dado que el aumento de su superficie fomentaba el intercambio gaseoso, se replegó (tabla 14). Sin embargo, esto exigía un dispositivo que separase ambas vías. Si se respira a través de la nariz o de la boca, el aire inspirado debe llegar al pulmón. Si se come, el alimento ingerido no debe ir al pulmón sino hasta el estómago, a través del esófago. La solución no era sencilla y tuvo que resolverse durante la colonización de la tierra firme. La solución fue una válvula que cerraba el camino de acceso al pulmón al comer. Si se respira, la válvula se abre y el aire irrumpe a través de la tráquea en lugar de hacerlo a través del esófago. Se plantea de nuevo la cuestión siguiente: ¿es esto una prueba de la voluntad de una inteligencia divina? Respuesta: no, en absoluto. Todo el dispositivo es bastante complicado y podría haberse resuelto desde el principio por caminos separados. Sin embargo, no fue posible por mutaciones, en especial porque en ellas cada paso intermedio debe tener un valor de selección, es decir, aportar ventajas sobre los competidores o, al menos, no causar desventajas. De todos modos, la formación de un pliegue adecuado, de una válvula, se encuentra dentro de lo que es posible alcanzar por mutaciones. Tuvo que desarrollarse también el mecanismo que

dispusiera cuándo debía abrirse o cerrarse la válvula y también tuvo que generarse un estímulo provocador de la tos que garantizase que el alimento sea expulsado de la tráquea, si se introdujera en ella por error.

En el próximo capítulo, cuando tratemos de los órganos del lenguaje, veremos con más profundidad esta área de nuestro cuerpo. Lo que aquí nos interesa es el momento estelar en el que se separaron definitivamente los sentidos del gusto y del olfato y en el que cada una de las células sensoriales responsables de ellos mostró una estructura especial. Éste, el cuarto momento estelar del camino evolutivo de los sentidos químicos, se produjo hace 400-380 millones de años. Coincide en el tiempo con la aparición de los primeros vertebrados terrestres, los anfibios. En el aire, se amplían notablemente las posibilidades del sentido del olfato. En el agua las sustancias se diluyen con lentitud y se extienden poco a poco. Si en las aguas del trópico se sacrifica un pez, transcurren varios minutos antes de que los tiburones que hay a 50 o 100 metros de distancia se den cuenta de ello. En tierra firme, el viento dispersa las sustancias olorosas con mayor rapidez y a mayores distancias. Se conocen entre tos insectos aptitudes excepcionales a este respecto. Los machos de algunas mariposas perciben sustancias olorosas emitidas por las hembras a distancias de varios kilómetros, siendo atraídas por ellas. Sus órganos sensibles a los olores, sencillos de diversos tipos, aparecen principalmente en las antenas. En los zánganos de la abeja se encuentran hasta 30.000 de dichos órganos en cada una de ellas, mientras que en los machos de la mariquita esa cifra asciende a 50.000. El problema de los artrópodos es su caparazón externo formado por una capa recia de quitina. En las placas cribosas, las células sensibles a los olores se encuentran por debajo de una placa de quitina provista de finísimos poros. En el caso de los conos olfatorios, los filamentos sensoriales de las células olfativas atraviesan la capa de quitina, emergiendo de ella a pesar de que están todavía protegidos por una cúpula hendida de quitina. En nuestros antepasados vertebrados, que nos interesan más, las

células olfativas se desarrollaron muy juntas en el techo superior de la cavidad nasal. En nuestros antepasados los reptiles, como puede observarse en las especies actuales, se inició la formación de una placa ósea que separa la vía de los alimentos de la cavidad olfatoria situada por encima de ella. La mucosa se plegó y se formaron estructuras óseas de refuerzo. Un corte a través de los lóbulos olfativos de un corzo o un cerdo nos muestra un laberinto parecido a un cuadro surrealista (tabla 13, fig. 3). En este campo sensorial el ser humano se encuentra muy por detrás de muchos animales. El cobaya tiene frente a ciertas sustancias una sensibilidad olfativa mil veces mayor. Un perro pastor supera en un millón de veces al ser humano, si bien con ello se llega al límite absoluto, ya que en este caso es suficiente con una única molécula aromática para que una de las células sensoriales la perciba. El ser humano es un animal visual. La manera en que construye sus conceptos y almacena sus recuerdos está sometida a una gran influencia visual. O dicho más exactamente, influye sobre nuestro yo. Hesse y Doflein escribieron en su obra *Tierbau, Tierleben:* «si el ser humano tuviese un sentido del olfato tan fino como el de un perro, entonces no sólo se vería afectada su vida sensorial sino todo el mundo de sus representaciones, que experimentaría un cambio definitivo... No hay duda que con ello se nos oculta una parte muy interesante del mundo que nos ha sido dado». En otras palabras: se demuestra aquí que la forma en que nuestro yo ve el mundo está fuertemente influida por nuestros órganos, es subjetiva. Mediante el desarrollo preponderante de nuestros aparatos visual y auditivo, en vinculación con el sentido del tacto, nuestros conceptos, las herramientas de nuestro pensamiento, están unívocamente determinados y con ello también la orientación de nuestras valoraciones, las metas de nuestros esfuerzos por entender el mundo y entendernos a nosotros mismos. A esto es a lo que se refería Immanuel Kant cuando afirmaba que no somos capaces de reconocer objetivamente la «cosa en sí».

En nuestros lejanos antepasados los reptiles, se formó un órgano especial de percepción de los olores: el *órgano de Jacobson.* Surgió como una derivación de la cavidad nasal y desemboca junto al paladar en la cavidad bucal. El lengüeteo de las serpientes sirve para la percepción de los olores. Recogen con las puntas de la lengua bífida las sustancias olorosas y las depositan a la entrada de este órgano. El hecho de que el sentido del olfato esté muy desarrollado entre los carnívoros, pero también entre los ungulados, es resultado de una adaptación a su forma de vida. Los depredadores llegan hasta su presa husmeándola, y las presas se percatan de su presencia gracias al olfato. El sentido del olfato está muy poco desarrollado entre las aves, ya que en su rápido desplazamiento es mucho más ventajosa la orientación visual. Su capacidad de visión está muy desarrollada y, en cuanto a la percepción de los detalles, las aves de presa superan ampliamente a los seres humanos. Es interesante mencionar que las ballenas han perdido la capacidad olfativa. Descienden de vertebrados terrestres y su cuerpo muestra hasta qué punto los órganos pueden adaptarse a una nueva forma de vida. Las extremidades posteriores involucionaron y a partir de un pliegue cutáneo endurecido apareció la aleta caudal horizontal. Las células olfativas especializadas quedaron, sin embargo, ligadas a la vía respiratoria, es decir, al análisis del aire.

En los vertebrados terrestres depredadores la capacidad olfatoria desempeñó otra función suplementaria. Aparecieron en ellos glándulas odoríferas y pautas de comportamiento que sirvieron para la defensa de su territorio. Al igual que el ser humano delimita su propiedad con vallas o carteles indicadores, los animales dejan marcas olorosas y vemos un ejemplo de ello en el perro que orina en una esquina de la calle. Con esto se comunica a cualquier competidor el siguiente mensaje: «aquí mando yo, no te atrevas a penetrar en este territorio». Las hormigas y algunos gasterópodos trazan rutas olorosas que les facilitan la orientación. En el caso de los insectos sociales, los habitantes de la misma colonia se reconocen por el olor. Los vigilantes apostados en la entrada comprueban en cada colonia

esta tarjeta de visita. El perro es capaz de distinguir a cualquier ser humano por su olor. Sólo en el caso de los gemelos univitelinos, que sean además del mismo tamaño, se equivoca. Las plantas forman en sus flores superficies aromáticas para atraer a los insectos y convertirlos así en órganos de transporte de sus células germinales masculinas (págs. 91, 94, tabla 17).

Mucho menos dramático, si bien no menos importante para el ser humano, fue el desarrollo de la percepción química cercana a la que denominamos sentido del gusto. El lugar de su actuación es la cavidad bucal, en la que se comprueba si el alimento ingerido es apto o no. Como ya hemos señalado, en algunos peces las papilas gustativas están situadas en los labios y los barbilones, así como en todo el cuerpo. En tierra esto no es posible, ya que estos órganos sólo pueden actuar cuando están cubiertos de una capa húmeda. Sólo existe una solución mediante la que analizar la particularidad de las nubes electrónicas que rodean a estas moléculas. Por eso, en los vertebrados terrestres sólo las encontramos en el interior de la cavidad bucal. Innumerables células sensoriales se sitúan juntas en un espacio muy pequeño, formando una estructura papilar, lo que aumenta la eficacia de los filamentos sensoriales que reciben sus señales del entorno. Sólo precisan distinguir cuatro cualidades de estímulos a las que denominamos dulce, salado, agrio y amargo. Lo dulce es una percepción de especial importancia, ya que el azúcar es un portador de energía fácilmente asimilable. Las sales son asimismo importantes para el cuerpo. Algunos ácidos son perjudiciales y algunos venenos, amargos. El mayor desarrollo del sentido del gusto en los mamíferos frente a sus otros parientes vertebrados radica en el mayor número de las citadas papilas sensoriales. En el ser humano se les encuentra sobre todo en la superficie de la lengua, así como en la parte posterior del paladar e incluso en la epiglotis. Lo dulce lo percibimos sobre todo en la punta de la lengua, lo salado en su borde anterior, lo agrio en la parte media y lo amargo en la zona posterior. Respecto a la percepción de sabores, el ser humano no es en modo alguno la cumbre de la creación. Tenemos en la boca unas 1.000 papilas gustativas, mientras que el cerdo posee

5.000 y la vaca que nos parece tan estúpida más de 90.000. Con el aumento de la edad su número se reduce. En los seres humanes este descenso se inicia a partir de los veinte años y su número queda reducido a una tercera parte al alcanzar los ochenta. La saliva que fluye con tanta abundancia en nuestra boca, junto a su colaboración en las tareas de la digestión, permite disolver las sustancias gustativas y mantiene, además, limpieza con el fin de poder percibir constantemente nuevos sabores con las papilas gustativas que se encuentran en los bordes de dichas ranuras y necesitan esa limpieza con el fin de poder percibir constantemente nuevos sabores (tabla 13, fig. 2).

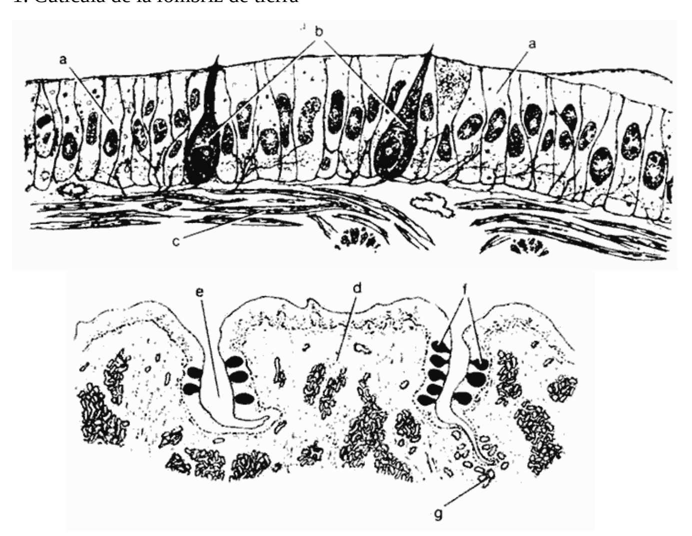
TABLA 13. Sobre la relatividad de nuestra orientación artística

Figuras: **1** células de la «percepción química» en la cutícula externa de una lombriz, **2** botones gustativos en las papilas de la lengua humana, **3** sección transversal de la cavidad nasal de un cerdo, a = epitelio monoestratifícado *(epitelio cilindrico)*, b = células sensoriales especializadas en el «análisis químico», c = capa muscular inferior con fibras nerviosas, d = papila de la lengua, e = surco, f = botones gustativos en las paredes laterales, g = glándulas salivares, h = láminas óseas, j = cavidad laberíntica, k = mucosa olfatoria.

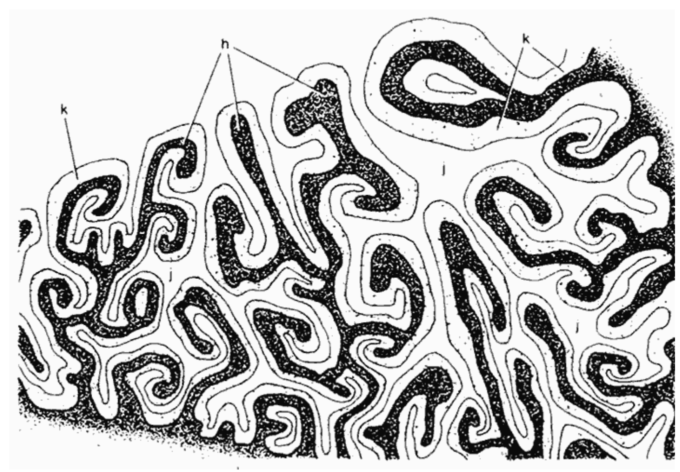
Los animales obtienen información de las condiciones del entorno a través de órganos que transforman los rayos de luz o las ondas sonoras en «transmisores de información» (tablas 4 y 12). Otra posibilidad es la percepción de las características químicas (moleculares) de las partículas materiales que llegan a los seres vivos a través del agua o del aire. La figura 1 muestra en sección la cutícula de un gusano formada sólo por un estrato celular *(epitelio cilíndrico)* y en el que dos células (b) están especializadas en la percepción de los estímulos químicos. La totalidad de las células del cuerpo, incluidas las musculares (c), tienen en su núcleo el mismo material genético aunque partes suyas quedan «tapadas» mediante determinadas sustancias inhibidoras. Esto da lugar a que cada célula se dedique a una función, produciéndose así una división del trabajo (págs. 72, 232).
La diferenciación de la percepción de los «estímulos químicos» en *olfativos* y *gustativos* se produjo ya en la línea de nuestros antecesores, en los peces; hace 400 millones de años adquirió especial importancia cuando algunos de ellos se adaptaron a la vida en tierra firme, es decir, al medio aéreo. La percepción a distancia analizando las partículas materiales que llegan por el aire se convirtió en el *sentido del olfato*, la destinada a probar la presa al devorarla fue el *sentido del gusto*. La figura 2 muestra una sección transversal de la superficie de la lengua humana. Alrededor de las

papilas (d) hay surcos (e) estrechos llenos de saliva, hasta cuyos botones gustativos (f) llegan las partículas disueltas de la presa. Estos botones diferencian cuatro calidades muy importantes: *dulce, ácido, salado* y *amargo*. La percepción a distancia localizada en la nariz recibió en los vertebrados terrestres el apoyo de la actividad pulmonar. El aire inspirado es conducido a través de grandes cavidades sobre una gran superficie de células olfatorias, que se mantienen húmedas mediante glándulas mucosas, puesto que estas células sólo pueden «analizar químicamente», es decir, comprobar sus características moleculares, las partículas que se encuentran disueltas. Con respecto a esta percepción sensorial el ser humano no es ninguna «cumbre de la creación» sino muy inferior a muchos de sus parientes animales. La figura 3 muestra una sección transversal de la cavidad nasal del cerdo, que a diferencia de la nuestra está ramificada en laberinto, con lo cual el animal dispone de un mayor epitelio olfatorio y es capaz de distinguir muchos más matices de olor. Si en lugar de nosotros hubieran sido los cerdos los que hubieran alcanzado una inteligencia consciente del yo, sus compositores no habrían creado sinfonías de sonidos sino de olores.

1. Cutícula de la lombriz de tierra



2. Lengua humana



3. Cavidad nasal del cerdo

Si nuestra percepción de los gustos se limitara a diferenciar estas cuatro cualidades, la gastronomía se habría desarrollado de manera bastante reducida. El paso a tierra firme, que abrió nuevas dimensiones el sentido del olfato, fue también muy importante para el sentido del gusto. La relación ya mencionada entre las fosas nasales originales y la cavidad bucal tuvo como consecuencia que, también durante la valoración del alimento introducido en la boca, pudiese actuar, al mismo tiempo, el sentido del olfato. Las vías de conexión, las coanas, se encontraban en los anfibios en posición muy delantera, aunque en los reptiles ya se desplazaron hacia atrás, mientras que en los mamíferos la pared de separación con la cavidad nasal, el paladar duro, se prolongó más mediante una pared blanda, de modo que, en nosotros, la unión de las cavidades nasal y bucal se encuentra en posición muy posterior, por encima de la epiglotis. Hasta allí llega el alimento previamente masticado y desmenuzado, que envía así las sustancias olorosas para que se las analice mejor en la nariz. Por consiguiente, no sólo degustamos los alimentos sino que también los olemos por vía interna. Cuando

estamos acatarrados, las vías olfatorias internas están bloqueadas, por lo cual la comida presenta menos sabores. En el curso del desarrollo de nuestra cultura culinaria aparecieron, además, percepciones visuales y táctiles, de los labios y de la boca, que enriquecieron todavía más nuestros placeres gastronómicos. La preparación y la condimentación de los platos, su combinación, su orden, las bebidas acompañantes, el equilibrio entre lo frío y lo caliente, los recipientes en los que se sirven las viandas, la compañía agradable y muchas otras cosas más. Las mariposas tienen, tanto en la trompa como en las patas, órganos gustativos. Si éste fuese nuestro caso, hubiésemos articulado nuestras costumbres tróficas de un modo todavía más complejo.

Sin embargo, existe todavía un quinto momento estelar en la evolución de nuestros sentidos químicos que se remonta a hace 10-8 millones de años. Aunque pueda parecer banal, fue de importancia decisiva para el ser humano. Se refiere a la aparición de nuestra nariz prominente, mediante la cual nos diferenciamos del resto de los animales y en especial de los primates. ¿Por qué apareció esta prolongación cartilaginosa, este «saliente nasal»? Surgió en la época en que nuestros antepasados primates pasaron a la vida en la estepa, se convirtieron en primates depredadores y accedieron, adaptándose a este comportamiento, a la marcha erguida. El apéndice nasal es un tejado protector contra el sudor que cae y de la lluvia, que lo separa del órgano olfatorio. La marcha erguida hizo que esta estructura resultase ventajosa, si no necesaria. ¿Una fruslería? En modo alguno. En la tarjeta de visita de nuestro propio yo, en nuestra cara, se convirtió en el punto central. Cuando valoramos la belleza de los demás tiene mucha importancia. Se convirtió en una característica racial con un efecto importante. A partir de la forma de la nariz sacamos conclusiones acerca del carácter, ella nos crea una impresión simpática y amable o todo lo contrario. Por esa razón, las operaciones de nariz son en la actualidad muy valoradas.

Nuestro punto de partida fue que las moléculas actúan sobre otras mediante las características de las nubes electrónicas que

las envuelven y que constituyen su «superficie», de la que surgen interacciones específicas. Al comienzo del desarrollo de la vida, la capacidad de reaccionar ante dichas interacciones se confundía en buena medida con la alimentación, la reproducción y la defensa. Aparecieron entonces unos órganos para su análisis. Entre los organismos pluricelulares, alcanzaron especial importancia en el interior de su cuerpo. Los animales y las plantas tienen al menos tantos como células tiene su cuerpo. En el caso del ser humano son billones. Con nuestro sentido del «olfato interno» que no accede a nuestra conciencia, se erige y se derrumba nuestra organización corporal. El sentido del olfato y del gusto orientado hacia el exterior tiene, respecto de éste, una importancia secundaria. De todos modos, dichos órganos transmiten al ser humano placeres selectos y un pequeño tejado que protege a nuestro órgano olfatorio se convirtió en un elemento interesante para el enjuiciamiento de nuestro yo por parte de otros. Finalmente, este «tejado» se ha convertido en el transcurso de nuestro desarrollo tecnológico en un órgano auxiliar de nuestros ojos, ya que sin la presencia de este apéndice destinado a otras funciones sería muy difícil que pudiésemos sujetar unas gafas.

XI. EL PULMÓN Y EL APARATO FONADOR

Llegamos ahora a otro órgano del que poseemos aproximadamente unos cien mil, sin que los consideremos como tales. Probablemente no sea superfluo decir que fueron ellos los que convirtieron, en última instancia, al ser humano en lo que es. Se trata otra vez de mecanismos tan pequeños que, hasta la fecha, ningún ojo los ha visto. Se trata de los conceptos, que son auténticas herramientas de nuestro pensamiento y que sólo cuando están dotados de nombre son utilizables. Esto significa: las herramientas, los órganos de almacenamiento de la información y la transmisión de ésta, el elemento que vincula, que mantiene al ser humano unido, que hace que su conocimiento y experiencia puedan comunicarse y que convierte a la gran variedad de individuos en «la humanidad». De estos conceptos dijo Angelus Engel, historiador de la literatura nacido en 1851 y fallecido en 1938, que se los debemos en último extremo a la lengua y al lápiz. Alumbraron en el ser humano cuando éste intentó comunicarlos. El instrumento para su comunicación fueron las palabras. Un refrán árabe lo compara a una flecha: una vez que ha sido lanzada no hay quien la detenga. El apóstol Juan relata sobre su origen: «En el principio fue el verbo y el verbo estaba en Dios y Dios era el verbo.» Ludwig Börne los denominó «los horribles señores secretos del mundo que gobiernan, ocultos». En cuando a sus efectos Kung Fu-tzu afirmó que no hay ninguna palabra «a la que no le amenacen contestaciones». Hebbel pensaba de forma optimista que «encontrar la palabra significa encontrar las cosas mismas». Con un espíritu igualmente optimista Goethe afirmaba: «Primero encontraré el sentido y acto seguido también las palabras.» Por otro lado, en la actualidad Eugène Ionesco afirmó en un tono mucho más pesimista que «la palabra deteriora el pensamiento.»

Los conceptos se fijan mediante palabras, el lenguaje consta de ellas y mediante signos escritos se transforma en una

estructura material duradera. Acerca del lenguaje Jean Paul dice que es un «nubarrón en el que la fantasía ve otra forma». Christian Morgenstern la consideró «un reto que impulsa increíblemente hacia un desarrollo superior». Rivarol advertía que es «un instrumento cuyos resortes no deben ser forzados». Y en lo que respecta a la escritura Oswald Spengler pensaba que «es el gran símbolo de la lejanía, es decir, no sólo de la distancia sino también de la duración, del futuro, del deseo de eternidad». Acerca de los legados antiguos Montaigne decía: «Creo que todos ellos, uno tras otro, tienen razón a pesar de que a menudo se contradigan.» Esto último es hoy la regla. Muchos conceptos se han gastado, por lo que resultan cuestionables, y, con ello, también las palabras y la escritura, que los transforma en materias.

En este libro se defiende, con palabras, la visión más bien impopular e incluso, para algunos, hiriente de que el ser humano no es una meta deseada del desarrollo de la vida, que nuestro yo se autovalora mal y que no tiene ni la más remota idea de qué está compuesto aquello que acostumbramos a llamar «nuestro libre albedrío». Lo que sin embargo aquí se explica no es en modo alguno la caprichosa chapucería de un malintencionado difamador de nuestros valores establecidos, sino prácticamente la consecuencia de aquello que puede leerse hoy en cualquier diccionario o cualquier libro de texto. Se enseña en casi todos los colegios. Lo curioso reside en que muy pocos seres humanos extraen las consecuencias de estos resultados y conocimientos y apenas los utilizan para valorar su propia existencia y vida, para orientar sus acciones o falta de acción. El saber acumulado por tantas y tan buenas ciencias se ha hecho tan grande, el flujo de información que cae sobre el actual ser humano es de tal magnitud y variedad, que esto se convierte en disculpa para contemplar tan sólo los resultados útiles y cómodos de las ciencias, y, del mismo modo, todo aquello que introduce cambios, divierte o distrae, pero que, en definitiva, nos lleva a seguir la corriente. A esto hay que añadir las ideologías que hoy imperan. En el mundo occidental, los seguidores de la economía de mercados proclaman a los cuatro vientos: «saca

lo mejor de tu vida. No pienses sino sé feliz». Y en el mundo oriental se afirma: «la colectividad es lo que cuenta. La colectividad te ayuda, te potencia, tú eres esta colectividad. Ella quiere lo mejor para ti. Incorpórate». En los dos campos en los que el potencial armamentista se ha hecho tan enorme que puede destruir toda la vida en el planeta, el ser humano es desindividualizado. La tendencia es: «para qué reflexionar sobre las cosas si no aportan un beneficio personal, si no son de utilidad para la economía o la comunidad». Debido a que entretanto puede ocurrir, y por desgracia seguramente sucederá así en uno u otro lado por locura o casualidad, que se apriete el botón que borrará del mapa nuestro mundo en cuestión de segundos, no está fuera de lugar hacer un intento, aunque desesperado, para reorientar la atención de nuevo sobre el yo, sobre su aparición, a la luz de la ciencia de la que ya disponemos, con la intención de proceder a una valoración más justa de nuestro propio ser y los conflictos que nos parecen tener tanta importancia. Y seguramente también resulta conveniente poner ante los ojos del hombre actual el espejo que le muestre la relatividad de los valores por los que se rige, con el fin de que logre percatarse de que muchos de los conceptos y valores que idolatra no son, en modo alguno, absolutos.

¿Cómo aparecieron los conceptos, las palabras, el lenguaje y la escritura? ¿Dónde se encuentran los momentos estelares de esta evolución? Si el ser humano fuese la meta deseada de una fuerza creadora divina, tal y como muchas religiones, y en especial el cristianismo, propugnan dogmáticamente, cabría suponer que dicha evolución hasta el logro de estas herramientas, sin las cuales el hombre no se habría convertido nunca en un ser humano, ponen al descubierto una planificación invisible y una clara realización. Se plantea entonces, en primer lugar, la cuestión de por qué la vida surgió en el agua, de por qué tanto tiempo residió en antepasados precelulares submicroscópicos y de por qué se invirtió tanto esfuerzo en un tumulto insignificante de medusas, caracoles y caballitos de mar. La respuesta que se da es que los caminos de Dios están más allá de la comprensión humana, de la reflexión crítica del hombre. De

todos modos, si tenemos un respecto tan incondicional a esta fuerza creadora, cabe pensar que, si es que el ser humano fuese realmente su meta, podría haber actuado de una manera mucho más eficaz. No se critica aquí el resultado de esa evolución sino la grotesca falta de metas de sus caminos. La maravilla de la naturaleza no pierde con ello nada de su fascinación, si bien se duda que tras el concepto de «naturaleza» tan manido en la actualidad, se esconda un agente con voluntad, un constructor que planifica, una instancia que no tiene nada mejor que hacer que diseñar en este planeta un millón de especies diferentes de insectos y que en el marco de una colección de vertebrados desarrolle un ser viviente, el «ser humano», como obra maestra especial. El deseo de este libro no es el de herir sentimientos sino más bien de que todos los que actúan, viven y juzgan como si no existiesen, tomen conciencia de los resultados innegables de la ciencia. Dado que la palabra, el lenguaje y la escritura fueron una condición tan decisiva para el desarrollo del progreso humano, de su civilización y cultura, es pertinente formular aquí la pregunta de si en ella se ve la huella de una voluntad con un objetivo, de una planificación divina. La respuesta es que aquí hay tan pocos indicios como en los demás sitios. La evolución avanzó, como podría decirse, dando a tientas pequeños pasos desvalidos, desde un avance al siguiente. Donde surgió algo ventajoso, esto se conservó a través de una especie animal o vegetal, imponiéndose en la posterior evolución sobre los competidores. En aquellos lugares en los que el progreso sólo era posible a través de etapas intermedias, que carecían por sí mismas de valor de selección, es decir, que no eran idóneas para la lucha por imponerse, no se produjo una ayuda por parte del creador. Esto es lo que sucedió en el camino evolutivo de todos los órganos que componen hoy el cuerpo del ser humano. La situación no fue distinta en el camino evolutivo hacia la formación de conceptos, palabras, el lenguaje y, en último término, la escritura y la ciencia.

Hemos hablado ya varias veces acerca del instante decisivo de la conquista de la tierra firme por parte de nuestros antepasados vertebrados. Tras la aparición de las primeras estructuras

vivas, de la unidad organizada, la célula, y de la formación de plantas y animales pluricelulares, éste fue seguramente el cuarto momento estelar de la vida. El rodeo a través del que nuestros antepasados peces lograron conquistar la tierra, no muestra en modo alguno la ayuda de una mano solícita. En el medio extremo de los pantanos secos y de las restantes aguas continentales se produjo, según hemos comentado ya, el hecho de que los peces que sobrevivieron a estos períodos de sequía gozaron de una ventaja sobre sus competidores, sin que importara el cómo lo lograron. Estaban dotados de una boca que poco a poco se había formado y configurado para la toma del alimento. Cualquier mejora en dicha boca, los órganos sensoriales que le indicaban la presencia de la presa, los órganos de movimiento que acercaban a ella, los mecanismos de comportamiento que permitían que dicha boca entrase en acción y los órganos de la digestión que introducían después los alimentos en el propio cuerpo, aumentaron la capacidad de supervivencia, el valor de competencia, la posibilidad de conservarse y multiplicarse. Sin embargo, todo esto no servía de nada si no se obtenía también oxígeno, ya que el alimento sólo puede ser aprovechado mediante combustión, oxidación, con su ayuda. Por lo tanto, sin oxígeno todo el proceso es baldío. En el agua se obtenía oxígeno a través de las branquias, pero en tierra estos órganos fracasaron en la realización de su cometido, se secaron. De todos modos queda todavía otra solución de urgencia, que puede contemplarse en los peces que viven en un acuario cuya agua no contiene la cantidad suficiente de oxígeno. Los peces nadan entonces cerca de la superficie y tragan aire por la boca. El tubo digestivo, si bien no está dotado para la recogida y la conducción del oxígeno hasta la sangre, permite sin embargo que a través de las branquias llegue más cantidad a ella. Lo que le falta son superficies delgadas a través de las cuales los vasos sanguíneos puedan absorber gas. Está orientado hacia el alimento sólido. En nuestros antepasados más primitivos, que reptaban penosamente en el barro seco, se produjeron asimismo mutaciones que tuvieron como consecuencia la formación de una cavidad evaginada en la parte anterior del intestino.

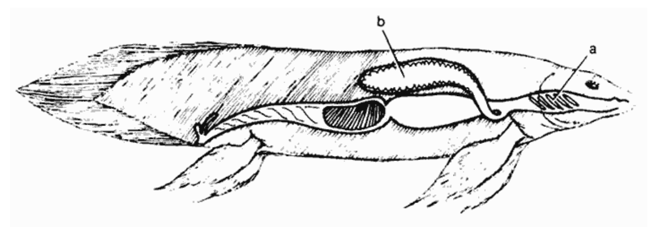
De este modo apareció una primera zona destinada a la absorción de oxígeno por parte de la sangre (tabla 14, fig. 1). La pared en esa zona es delgada y está muy vascularizada. Aquellos de nuestros antepasados más primitivos que disponían de este órgano tan primitivo para la obtención de oxígeno a partir del aire tenían una ventaja decisiva. Podían sobrevivir durante algún tiempo en el medio aéreo. Podían, incluso, desplazarse sobre sus aletas sobre el suelo y tener así la posibilidad de encontrar una charca que todavía no se hubiera secado. Antes que ellos, otros seres vivientes habían conquistado ya la tierra: las plantas y algunos animales inferiores, razón por la que allí ya existía alimento. Se dio así para estos de nuestros antecesores una interesante posibilidad. No sólo el poder llegar hasta otras charcas era ventajoso sino que la marcha por terreno seco permitía también encontrar alimento. Naturalmente, el proceso se explica aquí de modo muy simplificado, ya que lo único que hemos de hacer es aclarar los puntos esenciales: uno de los vertebrados más antiguos, el pez, se convirtió en pionero que condujo a la aparición de los vertebrados terrestres, a la de los seres humanos y, en último extremo, a la del lenguaje y la escritura. Un ser superior que hubiera estado interesado en esta evolución habría escogido, si es que este rodeo a través del agua para llegar a la tierra hubiera sido necesario, una pez hermoso, dotándole de pulmones y órganos fonadores, y lo habría convertido en el humano planeado. Pero no fue esto lo que sucedió. Nadie se ocupó de este animal acuático para, una vez alcanzada la tierra, convertirlo en la cumbre de la creación. La idea de que dicha cumbre apareció a imagen y semejanza de esa fuerza divina implicaría que ella misma vivía también en el agua, lo que tampoco parece probable.

TABLA 14. Aparición del fuelle al que nosotros debemos nuestra voz y los teleósteos su capacidad de regular la flotabilidad

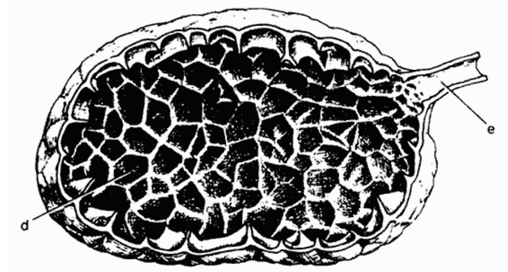
Figuras: **1** pez pulmonado australiano, **2** pulmón camerular de anfibio, **3** bronquios ramificados del pulmón humano, a = branquias, b = pulmón primitivo resultante de una evaginación intestinal, c = pliegue de la pared,

d = cámara de la pared pulmonar, e = tráquea, f = bronquios que se ramifican en los bronquiolos, g = *alveolos* en los extremos de las ramificaciones, que producen un nuevo aumento de la superficie.

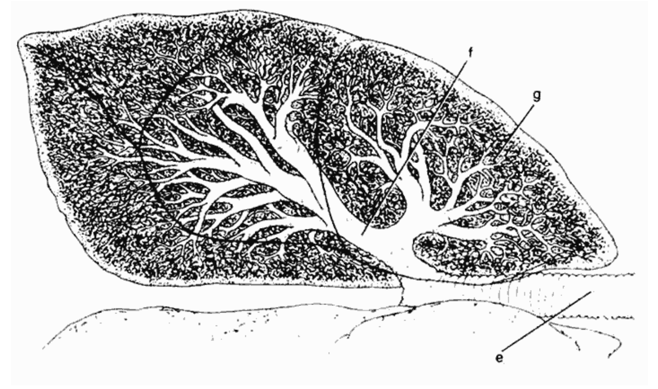
El modo en que el azar ha influido, y determinado, el camino evolutivo de los animales pluricelulares lo demuestra perfectamente el pez pulmonado, un descendiente directo de los peces primitivos que conquistaron la tierra firme y de los que proceden todos los vertebrados terrestres, incluido el hombre (pág. 4, tablas 1, 5). Nos sigue mostrando cómo a partir de una evaginación de la parte anterior del tubo digestivo apareció el primer *pulmón* (1), el primer órgano para la obtención de oxígeno y desprendimiento de dióxido de carbono al aire. En el intercambio gaseoso entre los vasos sanguíneos y el medio conviene que exista la máxima superficie posible. Por esa razón las branquias de los peces que respiran en el agua se ramifican, y también en el pez pulmonado comienza a plegarse el pulmón rudimentario, que apareció simplemente como una vejiga lisa. El desarrollo posterior de este órgano en los vertebrados terrestres (2, 3) muestra cómo la función requerida, o sea, la necesidad, dirige el camino del perfeccionamiento. Cuanto mayor es la superficie mejor es el intercambio de gases, lo cual es una clara ventaja en la «lucha por la vida», en la que se impone el más apto. En los anfibios (cf. tabla 5) el pulmón ya es camerular (d), con lo cual su superficie experimenta un notable aumento. En los mamíferos se ramifica y divide en un sistema de canales (f, g) provisto de diminutos *alveolos*, aumentando así varios miles de veces la superficie. En el hombre, este fuelle adquirió una importancia adicional. Debido a su creciente capacidad intelectual y de la conciencia del yo resultante, consiguió la capacidad de comunicarse con sus congéneres, intercambiar experiencias con ellos y aumentar así de manera notable las posibilidades de supervivencia. El pulmón, por azar, era el requisito necesario para este avance. De ser un órgano del intercambio gaseoso con el aire se convirtió, como función adicional, en un fuelle necesario para la comprensión oral (pág. 186).
Este fuelle se volvió igualmente útil, también al azar y «sin querer», en los teleósteos. También ellos proceden de los peces pulmonados, aunque de aquellos que con el pulmón adquirido volvieron al medio acuático en el que este órgano, ahora sin función, les sirvió para regular su flotabilidad. Mientras que los peces cartilaginosos (tiburones y rayas) no pueden tarar su peso, los teleósteos lograron la vejiga natatoria gracias a la «excursión por tierra firme» de sus antecesores. ¿Existe una planificación consciente en el pulmón que nos permite hablar y en la vejiga natatoria? Desde luego que no. Tanto en uno como en otro caso fue una ventaja aparecida al azar, que permitió un aumento de eficacia y dirigió así una nueva evolución (pág. 8). ►



1. Pez pulmonado australiano



2. Pulmón de anfibio



3. Pulmón humano

La realidad desnuda es que la conquista de la tierra por parte de los vertebrados, a los que pertenecemos, no recibió ningún apoyo, no es una pincelada magistral. Se produjo, como puede observarse fácilmente, en un entorno poco apto, gracias

a unas mutaciones favorables. Una vez superado este escollo, las cosas avanzaron con mayor rapidez. Cualquier variación corporal que favoreciera este cambio de medio era una ventaja clara que se conservaba, se imponía y quedaba fija en la descendencia. A partir de los peces primitivos dotados de un órgano muy poco eficaz para la obtención de gas aparecieron los primeros anfibios, más tarde los reptiles, a continuación los mamíferos y al final nosotros mismos. Debido a que este órgano de la respiración, el pulmón recién aparecido, se convirtió después no sólo en una herramienta auxiliar en la percepción de olores sino también del lenguaje, debemos considerar que el primer momento estelar en la evolución hasta el lenguaje es ese período de la conquista de la tierra firme. Por consiguiente, coincide con dos momentos estelares ya comentados, con el segundo del camino evolutivo de la mano y con el cuarto en la evolución de nuestros sentidos químicos, de nuestro órgano olfativo, situándose por lo tanto hace 400-380 millones de años. Este momento estelar es enormemente banal desde el punto de vista del ser humano actual, de las elevadas ciencias, de los poetas, pensadores y artistas. Apareció un pequeño saco gracias al cual se podía absorber oxígeno. Un creador que hubiese generado al ser humano a través de este camino tendría que ver todo de modo muy caprichoso. Si se tienen en cuenta el número de estrellas en el Universo, infinitos billones, se tomó mucho tiempo para ocuparse de los procesos que se produjeron en el planeta Tierra. Para empezar, tardó bastante en hacer que el planeta se formase, dicho en pocas palabras, 6.000 millones de años (tabla 16). Después, tardó bastante hasta que las condiciones climáticas sobre el planeta se hicieron adecuadas para la vida, que al principio sólo fue en el medio acuático: 3.000 millones de años. Transcurrieron además otros 3.600 millones de años hasta que por fin el pez pulmonado se decidió a llevar a cabo su acción pionera. Sin embargo, la paciencia del constructor divino no se había acabado, ya que desde el instante de la aparición de ese pequeño saco, condición imprescindible para el lenguaje y la escritura vinculada a él, y la aparición del ser humano transcurrieron 396 millones de años. Quien afirme que

éste exagera su importancia no debería ser considerado a la ligera como hereje. Si llegamos a estar dotados de razón, no puede ser un error emplearla. Si las conclusiones que resultan de dicho empleo no coinciden con lo que el ser humano ha transmitido como herencia fantasiosa, le quedan entonces sólo dos posibilidades: sacar las consecuencias de ello o persistir en el mundo de sueños de su concepción insostenible. En el sistema de vasos sanguíneos las capacidades aumentaron al ampliar la superficie a través de capilares, cada vez más ramificados. En el tubo digestivo esa capacidad se incrementó gracias al aumento de la superficie absorbente, gracias a la formación de vellosidades intestinales. Tal como nos muestran los anfibios actuales, en el caso del pulmón la situación no fue diferente. Inicialmente sólo aumentó el grado de evaginación del intestino, convirtiéndose en una estructura alveolada (tabla 14, fig. 2). En los reptiles vemos lo que sucedió en la serie de nuestros antepasados. El pulmón, como órgano de la obtención de oxígeno y expulsión del dióxido de carbono, formó mediante subdivisión en su interior cámaras suplementarias. En los mamíferos, por último, los canales se estrecharon cada vez más, transformándose en pequeños canales en cuyos extremos se disponen arracimadas pequeñas vesículas. Se trata de los alveolos pulmonares, rodeados de delicados vasos sanguíneos. De este modo se produjo una extraordinaria ampliación de la superficie del pulmón, de la superficie disponible para el intercambio de gases. En el ser humano, su superficie es 50 veces mayor que la de su cuerpo (tabla 14, fig. 3).

Con esto nos hemos adelantado un buen trecho en la evolución de nuestro órgano fonador y de nuestra escritura. El segundo momento estelar en este camino evolutivo se produjo hace 340-300 millones de años. Nuestros antepasados anfibios todavía tragaban el aire, proceso que hoy podemos observar perfectamente en las ranas. El aire es deglutido con la boca cerrada a través de las vías de comunicación con la cavidad nasal, las coanas, mediante el descenso del suelo de la cavidad bucal. El aire que se encuentra en el interior del pulmón se comprime en la cavidad bucal mediante la contracción de los músculos

abdominales, cerrando simultáneamente los agujeros de la nariz, en la que se mezcla el aire exhalado con el inhalado. Una parte de este aire de mezcla es comprimido, por último, en el pulmón, cuando la rana eleva el suelo de la cavidad bucal, con lo que reduce ésta. Mediante la apertura de la boca y las oscilaciones del suelo del paladar, la rana expulsa el resto. A continuación cierra la boca, abre los orificios nasales y comienza el proceso otra vez. Este sistema de respiración no es muy eficaz, ya que el aire exhalado es inhalado por segunda vez a pesar de estar enriquecido con dióxido de carbono. Sin embargo, este hecho no es más problemático que el de la posición del corazón de los anfibios, en cuyo ventrículo común se mezclan la sangre arterial y la venosa (tabla 2, fig. 2).

Sólo cuando aparecieron los reptiles a partir de los anfibios, es decir, los lagartos, las tortugas y las serpientes, mejoró la desafortunada estructura. Esto se logró con ayuda de las costillas, es decir, con huesos que soportaban y protegían y que no guardan ninguna relación con la respiración. En los anfibios actuales son cortas y sólo protegen al cuerpo contra las fuerzas procedentes desde arriba. En los reptiles, sin embargo, son tan largas que circundan la cavidad corporal, al mismo tiempo que la amplían. En la cara anterior apareció una unión cartilaginosa elástica, el esternón. Un proceso esencial fue que en estas costillas se insertasen músculos que transforman la caja torácica en un fuelle, en un órgano auxiliar del pulmón. Este fue el segundo momento estelar en el camino evolutivo de nuestro órgano respiratorio y, al mismo tiempo, de nuestro órgano fonador. La rana ya puede, mediante una laringe primitiva, comprimir el aire respiratorio, para lo cual la abertura laríngea se abre y cierra. De este modo, croa de manera característica. Este método no habría sido adecuado para que los seres humanos se comunicaran entre sí. La transformación de la caja torácica en un fuelle activo creó las condiciones necesarias. Su aparición, el segundo momento estelar, tuvo lugar hace 340-300 millones de años.

En nuestros antepasados mamíferos se produjo otro perfeccionamiento. Entre las cavidades torácica y abdominal apareció, mediante la unión de los pliegues de la zona ventral y dorsal, el diafragma musculoso, que incrementa todavía más la eficacia de este fuelle. Como debe aprender todo cantante, no sólo se respira con la caja torácica sino también con el diafragma. Con esta mejora aumentó la eficacia de nuestro fuelle, el pulmón. Sin embargo, para la capacidad del habla lo decisivo fue la aparición de una corriente controlada del aire inspirado y espirado. El que expulsamos lo utilizamos además para la creación de los sonidos que nos ayudan a entendernos, si bien ésta no es una ley válida en general. El rebuzno de un asno se origina por la inhalación del aire, al igual que el sonido penetrante del avetoro o el canto de las alondras que ascienden por el aire.

Antes de ocuparnos del auténtico instrumento musical al que sirve este fuelle, la laringe, es interesante plantearnos la pregunta de cómo funciona en los insectos que conquistaron también el medio aéreo. ¿Qué pasó con su voz? ¿Dónde está su laringe, cuál es su fuelle?

Es muy instructivo saber que carecen de un auténtico fuelle. Estos colonizadores del suelo y del aire han recorrido una historia diferente, han dejado tras de sí una evolución distinta. Quien crea en una fuerza planificadora con un objetivo concreto, debe llegar a la conclusión que el planificador se dedicó, en este caso, en nuestro planeta, que es uno de los millones de cuerpos celestes existentes, con gran paciencia a ensayar modelos muy diversos. Mientras que los vertebrados tienen un esqueleto interno, de lo que trataremos en el próximo capítulo, los artrópodos lo tienen externo. Por consiguiente, no se trata de huesos que soporten su cuerpo desde el exterior sino de una coraza de quitina que los sostiene y, a la vez, les protege. Cualquier cangrejo nos la muestra, y en el suelo o en el aire la vemos en sus parientes los insectos. Esta estructura conlleva ventajas y desventajas. La ventaja de este camino evolutivo es que los órganos de soporte realizan una función suplementaria. No sólo mantienen a todos los órganos en su posición correcta y brindan resistencia a la gravedad terrestre, sino que también

protegen al cuerpo, forman una coraza que les defiende de efectos perturbadores y de sus enemigos. La función protectora y de soporte de la coraza significa, con respecto a los vertebrados, un ahorro esencial. Sin embargo, tiene varias desventajas. Primero, está el problema de los elementos del desplazamiento. Las patas necesitan articulaciones, algo nada sencillo en el caso de una coraza externa (los herreros que en la Edad Media construían las armaduras para los caballeros se enfrentaron al mismo problema). Tuvieron que aparecer por mutación articulaciones que brindasen libertad de movimiento a las extremidades revestidas de tubos duros (tabla 15). Segundo, el problema del crecimiento. Una coraza externa de este tipo es un tejido muerto segregado por las células, que no puede variar de tamaño. Por este motivo los animales tienen que mudar, un proceso molesto y complicado que también lleva consigo grandes riesgos. Cuando una langosta muda el caparazón, queda con su blando cuerpo totalmente desprotegido frente a los enemigos. Por esa razón son necesarios mecanismos del comportamiento para que, primero, adquieran las sustancias de reserva necesarias y, tras la muda, busquen refugio en una grieta estrecha hasta que se forme el nuevo caparazón. La tercera es una desventaja muy importante, que consiste en que la coraza limita el tamaño del cuerpo. En el caso de los organismos pequeños esto no constituye un problema especial, pero en el de los grandes, sobre todo en tierra firme, la coraza se vuelve cada vez más pesada. Este es el motivo por el cual en nuestro planeta no aparecieron abejorros del tamaño de águilas ni alacranes cebolleros del tamaño de un elefante. El hecho de que hoy, en contra de las fantásticas concepciones de las películas de ciencia ficción, no puedan aparecer crustáceos o arañas gigantescas se debe simplemente a que su desarrollo en el campo gravitatorio de nuestro planeta no fue posible. La coraza externa impuso un límite absoluto al desarrollo del tamaño, si bien en menor medida en las aguas, donde el empuje ascensional sirve de ayuda, y en mayor medida en el aire.

Sin embargo, otra ventaja contrarrestaba todas estas desventajas. Con el material que forma la coraza externa, la quitina, se pueden construir conductos incomprimibles, lo cual pudo ser uno de los motivos por el cual el problema de suministro de oxígeno a las diversas células pudo solucionarse en estos organismos pluricelulares de un modo distinto a como se había hecho en los vertebrados. Los insectos conquistaron el medio aéreo sin pulmones. Unos finos canales, las tráqueas que se extienden desde el exterior del cuerpo, se ramifican en su interior y conducen el oxígeno a todos los órganos del cuerpo. Estos canales se endurecen gracias a capas de quitina y permiten, al mismo tiempo, el intercambio gaseoso. En los insectos también encontramos un líquido sanguíneo que penetra en los intersticios hísticos y poseen asimismo un corazón que mueve dicho líquido. Sin embargo, este sistema no precisaba hacerse cargo de una función suplementaria de transporte de gas, ya que para ello existe una red propia de canales. Desventaja: estos canales no son adecuados para la producción de sonidos, al contrario de lo que sucede con el pulmón.

El siguiente momento estelar en la evolución de la voz humana, de la escritura del hombre, es la aparición, al final de la tráquea, de un instrumento musical, la laringe. Este final es un punto débil en los vertebrados, ya que en él se cruzan las vías respiratoria y de los alimentos. Si penetra comida en los pulmones, se bloquea su funcionamiento. Si entra aire en el estómago es, por lo menos, incómodo. Por eso no es demasiado sorprendente que en este punto débil, en este cruce apareciese, tuviese que aparecer, un dispositivo que regulase simultáneamente el tráfico. Se desarrolló a partir de cartílagos formados a partir de arcos branquiales involucionados. Se trata de la *laringe.* Cuando se deglute la comida, unos músculos cierran la entrada de la tráquea. Ésta se mantiene abierta gracias a estructuras anulares, del mismo modo que lo hacen las tráqueas de los insectos con los tubos de quitina. En los mamíferos, el aparato de cierre va protegido por un cartílago situado por delante suyo, el cartílago tiroides. Parece innecesario decir que estas piezas que mantienen abierta la tráquea se formaron asimismo

a partir de restos de arcos branquiales. Otra mejora que apareció en los mamíferos es la tapa de la laringe que regula aún mejor el cierre de la abertura de la tráquea. En los anfibios, dentro de la laringe se desarrolló, mediante pliegues a ambos lados, una membrana que puede vibrar gracias a la corriente de aire y que de este modo genera sonidos. Éstas son las llamadas *cuerdas vocales,* que en realidad son pliegues y, por tanto, deberían llamarse «láminas vocales» y que se completaron durante la época de la evolución de los reptiles. Se formó un complicado sistema muscular que tensa más o menos dichas «cuerdas». Éste fue el tercer momento estelar en el camino evolutivo de nuestro lenguaje, que tanta importancia tuvo en nuestra conversión en seres humanos. Se produjo hace 250-220 millones de años. Fueron así posibles las primeras emisiones de sonido diferenciado, algo muy ventajoso para el reconocimiento de los congéneres y de los compañeros sexuales, pero nada más. La paciencia del creador invisible que, según piensan muchos, esperó a que se completase este camino evolutivo tan lento, es inimitable. Estaba descansando, esperaba. Unos millones de años no tenían ninguna importancia para él. A pesar de su meta inequívoca, la cima de su acción, la creación a su imagen y semejanza, se comportó paciente y no actuó para acelerarla. Permanecía a la espera de lo que se producía a través de rodeos arbitrarios y en pequeños pasos.

Volvamos a observar la situación en los insectos. Para ellos también es importante el reconocimiento de los congéneres y de los compañeros sexuales. No disponen de un fuelle central que, además de su función principal, sea capaz de emitir sonidos. Tienen un esqueleto interno, poseen tráqueas, es decir, tienen ventajas y desventajas respecto de los vertebrados. Una de las desventajas es que sus tráqueas no son adecuadas para piar, hablar y cantar. Tienen paredes duras. Sin embargo, durante los movimientos del vuelo se retraen, pero no son tubos de órgano. Por el contrario, la coraza externa rígida les abre otras posibilidades de emitir sonidos. Los saltamontes y los grillos frotan las alas, con lo cual rozan una placa que pasa por encima de un borde afilado. Estos dispositivos se pueden desarrollar, sin más

problemas, por mutación. Los saltamontes mueven el ala delantera y la rascan con el fémur como si se tratara del arco de un violín. En las chicharras se formó en el primer segmento del abdomen una especie de tímpano que oscila al ser tensado por una serie de músculos. Una vesícula traqueal del abdomen actúa como caja de resonancia. Cualquier visitante de las costas mediterráneas conoce la intensidad con la que actúa este dispositivo.

Pero volvamos al ser humano. ¿Qué instrumento suplementario introdujo aquí el constructor divino para lograr la tan importante comprensión oral? Ninguno. Si hemos de creer que actuó, dejó de nuevo que las cosas siguieran su curso. Mediante un especial desarrollo de los músculos situados en las cuerdas vocales nos fue posible generar sonidos determinados en límites de oscilación estrechos. El cantante se gana la vida con esta capacidad. Si no fuésemos mamíferos nos resultaría muy difícil pronunciar la «O» y la «U». Con el fin de que las crías pudieran mamar del pecho materno, los labios se configuraron de modo que la abertura bucal se cerrara hasta formar un orificio redondo. Todo esto se complica aún más con las consonantes, de las que existe un gran número en los distintos idiomas. Sin la colaboración de los dientes, del paladar, de la lengua y de la cavidad nasal, no podrían formarse. Sin embargo, ninguno de éstos apareció con la intención de colaborar en la formación de la voz. Por decirlo de algún modo, todos los instrumentos auxiliares del habla humana no han sido creados intencionadamente, sino que son elementos prestados. Numerosas coincidencias que se unieron en este caso de manera afortunada, actuaron positivamente en la formación del ser humano. Ni el pulmón, ni la laringe, ni la lengua, ni los labios, ni los dientes surgieron para llevar a cabo la función de la comprensión. La cavidad bucal, la cavidad nasal y la cavidad torácica actúan como cajas de resonancia. En el caso de los aulladores (primates), al igual que entre las ranas, se desarrolló una caja de resonancia especial que les posibilita emitir sonidos de gran intensidad. En el ser humano esta caja ha involucionado. Las falsas cuerdas vocales superiores son un resto de ella.

¿Pero de qué sirve el mejor instrumento musical si carecemos de músico? El habla humana dispone de un instrumento diferenciado para la generación de sonido como condición inicial, pero esto no es todo. Nuestros parientes más cercanos, los simios, son un claro ejemplo de ello. No son sonidos lo que faltan sino cerebro. El cuarto momento estelar de la evolución de la capacidad del ser humano para hablar se produjo hace 4-2 millones de años, cuando su cerebro logró pensar, sacar conclusiones y dio origen a la conciencia del yo. En este proceso un factor decisivo fue el gran desarrollo de la corteza cerebral. Una de sus partes, el área de Broca, fue la responsable del empleo práctico del instrumento fonador humano como elemento de comprensión. Igualmente, un instinto innato de entenderse mediante el lenguaje, que aparece tanto en el niño como en muchos adultos.

Sin embargo, «hablar» es tan sólo una palabra, nada más. ¿Qué se esconde detrás de ella? ¿En qué se basa este proceso? Como ya se ha dicho, en conceptos. Éstos se forman en animales con un desarrollo intelectual superior, por ejemplo los primates. La gran variedad de formas que tienen aspecto de árbol la engloban bajo el concepto «árbol», todo lo que es amarillo lo incluyen en el concepto «amarillo» y todo lo que se mueve abajo en el de «se mueve». Sin embargo, lo que su cerebro no es capaz de hacer es relacionar estos «cajones» intelectuales con una determinada serie de sonidos, con una «palabra». Para ello sirvió la corteza cerebral muy desarrollada del ser humano. Mientras que los mamíferos superiores desarrollaban conceptos averbales, el ser humano es capaz de formar conceptos verbales. No sólo reconoce, gracias a la abstracción, la totalidad de los fenómenos parecidos, sino que es capaz de ligar el resultado de dicha abstracción a un símbolo de palabra. En nuestra experiencia subjetiva este proceso es sencillo, pero en el niño en desarrollo no lo es. En el ser humano adulto esta capacidad se convierte en fundamento de su superioridad sobre los animales.

¿Por qué adquirió tanta importancia la comunicación verbal? Muy sencillo, porque le permite al ser humano transmitir

a sus descendientes las experiencias que, de lo contrario, desaparecerían con su muerte. Los animales también recogen experiencias, pero no pueden transmitirlas. No existe ningún mecanismo conocido que permita transmitir las características adquiridas al material genético de la célula germinal. Por lo tanto, que los padres tengan más o menos experiencia es una cosa que no se refleja en el acervo genético de sus descendientes. Este conocimiento no se transmite al animal joven, que debe conseguirlo por sí mismo. Mediante el lenguaje, sin embargo, es posible realizar la «herencia de las características adquiridas». Una generación puede comunicar el tesoro de sus experiencias a la siguiente. De este modo, cada individuo no debe empezar cada vez desde el principio y los mecanismos de la conducta se transmiten. Dado que mediante estos últimos también es posible crear estructuras que se las utilice para fines determinados y aumenten el poder, por ejemplo, herramientas o máquinas, la fabricación de órganos suplementarios obtenidos artificialmente es también transmisible de padres a hijos y de maestros a discípulos. Es una evolución cuyos efectos no tienen límites. La experiencia ya no se pierde. El individuo deja de ser, en sentido estricto, un individuo. Su conocimiento, sus experiencias, permanecen y se continúan en otros seres humanos. Junto al material genético, que sólo puede cambiar por mutación, aparece otro mecanismo director, el cerebro, que habla y transmite sus experiencias a otros. Presenta una desigual capacidad de adaptación, de transmitir lo que ha obtenido de modo individual a su descendencia. Este es el cuarto momento estelar en la evolución de nuestros órganos respiratorios, de nuestros órganos fonadores. Se transforman en unidades auxiliares de algo completamente distinto. Se convierten en complementos, en ampliaciones fundamentales del material genético. Esta capacidad apareció hace 2-1 millón de años. Gracias a este momento estelar, el ser humano se convirtió en humanidad, el individuo en colectivo.

Apareció la transmisión oral. Surgieron costumbres que se mantuvieron, nacieron los usos. Se construyeron escuelas en

las que se transmitía el saber a los niños, con lo que éstos gozaban de un punto de partida nuevo. No tenían que comenzar faltos de experiencia, ya que se les transmitía una cantidad siempre creciente de experiencias, de conocimientos prácticos y teóricos. Sin embargo, el ser humano no se volvió por ello más pacífico. En la actualidad, y desde siempre, se ha esforzado por evitar los conflictos y las guerras, que han aparecido constantemente. Se predica el ideal del amor al prójimo y los fundadores de las religiones lo defienden con tanto ahínco como falta de éxito. Sin embargo, no aminoran las disputas y los conflictos violentos no disminuyen. Cualquier individuo posee todas las razones para la conciliación, para superar los motivos de conflicto, ya que lo que es se lo debe a una gran cantidad de predecesores de los que apenas sabe nada. Muy pocos son capaces de profesar un amor universal al prójimo, siendo muchos más los que sienten un agradecimiento global. Mientras continuemos considerando las casas, los sillones y las calles como algo dado, algo evidente, no tendremos solución. Todo esto y mucho más, y, en último término, tampoco el lenguaje, no lo hemos creado nosotros mismos sino que nos ha sido regalado. Un regalo que está próximo a la conciliación. Sin la gran cantidad de otros antecesores, casi todos ellos completamente desconocidos, a los que debemos todo aquello que constituye en la actualidad nuestra vida, no seríamos nada. Seríamos menos aptos para la vida que un animal. Cada uno de nosotros se encuentra, en el momento de su nacimiento, en cierta medida, sobre un pedestal y todos deberíamos reconocerlo así. Pero sólo unos pocos son conscientes de ello. Lo que se encuentra se considera evidente. Lo que no responde a los propios deseos se transforma en un acicate para la crítica y la agresión. Sin embargo, si contemplamos cómo surgió todo, entonces las cosas tienen otro aspecto.

El quinto y último momento estelar en esta evolución fue la aparición de la escritura hace aproximadamente 5.000 años. El descubrimiento realizado por nuestra mente de transformar las palabras en materia equiparó la escritura al material genético. Lo mismo que éste se divide y comunica sus instrucciones

a los descendientes, las instrucciones escritas permanecen incluso mucho tiempo después de que el individuo muera. En esto, precisamente en este hecho, se basa en primer término el progreso humano, la técnica del hombre, la civilización y la cultura. Así fue cómo se transformó la multitud de los hombres en «humanidad». Así fue cómo apareció la ciencia, emergió la herencia común, sobre la que se puede basar el progreso futuro.

«Al principio fue el verbo.» Con esto quiere expresarse seguramente que al principio había una fuerza dirigida hacia una meta y dotada de voluntad que dictaba el desarrollo. Los resultados de la investigación no apoyan esta concepción. Lo que se esconde detrás de este poderoso desarrollo es completamente incierto. Cuál pueda ser su utilidad es un misterio. De todos modos existe. Y ésta es precisamente nuestra ventaja en tanto en cuanto no concibamos nuestra existencia, nuestra conciencia, como un valle de lágrimas y un tiempo en el que se nos somete a prueba. Existimos, esto es lo único concreto en realidad. Nuestro espíritu nos ofrece la posibilidad de investigar nuestro devenir con detalle. Durante dicha investigación se demuestra que muchas de las concepciones entrañables que nos han sido transmitidas desde antiguo son sólo el fruto de una imaginación muy rica y nada más. El hecho de que tras esta existencia y de este universo se esconde una «causa», un «motivo», no debería cuestionarlo ningún pensador. Sin embargo, que seamos la meta y el centro de esta voluntad es cada vez más improbable. Nuestra vida, en cuanto a su sentido o falta de él, no varía por ello en lo más mínimo. Nuestra existencia ni gana ni pierde importancia. Incluso aunque no seamos el ser mimado de un director invisible, tenemos muchos motivos para estar satisfechos de existir. Lo que hagamos con nuestra existencia depende de nosotros. Para ello tan sólo puede servirnos de ayuda una visión realista de la estructura que constituye nuestro yo y de aquella otra de la cual está formada.

XII. LA PIEL Y LOS HUESOS

Se calcula que el número de células que constituyen el cuerpo humano es de unos 60 billones, es decir, 60 millones de millones, una cifra considerable. En la actualidad viven en el mundo unos 5.000 millones de seres humanos. De acuerdo con los cálculos aceptados generalmente, en el año 1900 éramos 2.000 millones, en 1700 unos 600 millones, en la época del nacimiento de Cristo unos 160 millones y 7.000 años antes de Cristo unos 10 millones. Si se considera que la edad media de una generación son 20 años, se obtiene un número total de seres humanos para las épocas históricas de aproximadamente 150.000 millones. Así pues, puede concluirse que el cuerpo de cada ser humano comprende unas 400 veces más células que hombres han vivido desde el año 7000 antes de Cristo.

Cada una de las células de esta enorme aglomeración que compone el cuerpo humano —a excepción de los eritrocitos, que no son células verdaderas dotadas de un núcleo— es, como ya señalamos, capaz de dar lugar, en principio, a cualquier tejido u órgano. En su núcleo, cada una de estas células alberga todo el material genético, es decir, las instrucciones para el desarrollo de todas las células. Es precisamente este material genético el que permite que una célula ayude al proceso de aparición de la nariz, mientras que otra participa en el de los músculos, los huesos, los vasos sanguíneos o cualquier otra estructura funcional. En el presente capítulo vamos a tratar de aquellas células que dan lugar a los órganos que reciben los nombres de *huesos* y *piel*.

Primera cuestión: ¿qué relación guardan entre sí dichos órganos? Externamente no tienen casi nada en común. Los huesos constituyen nuestro esqueleto, son para nosotros el símbolo de la muerte, ya que, además de los dientes, son lo único que queda de nosotros. El resto del cuerpo se corrompe o, dicho

con mayor exactitud, se convierte en alimento para las bacterias de la putrefacción y otros seres vivos. Nuestra piel está más próxima a nosotros, reviste nuestro cuerpo y lo limita frente al entorno. Es sensible y la protegemos y cuidamos. Es el órgano del tacto. Las mujeres la suavizan con ayuda de polvos, y mejoran su aspecto mediante el maquillaje. El ser humano palidece de miedo, y las chicas enrojecen de pudor. Millones de turistas yacen al sol durante el verano para dorarse al máximo. A los negros se les reconoce por su piel oscura. Las quemaduras se cuentan entre las lesiones más horribles.

Desde el punto de vista funcional, por el contrario, la piel y los huesos se conciben como una unidad en la que a menudo uno apoya al otro, haciéndose cargo de sus tareas. La función de los huesos es el soporte del cuerpo, pero la piel (o la *cutícula)* también puede servir de sostén, como nos lo demuestra el ejemplo de los crustáceos o los insectos y el de las tortugas entre los vertebrados. La función de la piel es la protección, y para ello forma escamas, pelos y corazas. Sin embargo, los huesos pueden ayudar en esta función, como por ejemplo, el cráneo, que protege nuestro órgano más sensible, o las costillas, que lo hacen con el corazón y los pulmones. Por esa razón seguiremos el camino evolutivo de ambos órganos, la piel y el esqueleto, de manera conjunta.

La piel es la estructura más antigua, pues, en un sentido amplio, incluso los organismos unicelulares poseen una, aunque se trata de una membrana flexible constituida sólo por algunas moléculas. Las fuerzas de la tensión superficial ayudan a su formación, y gracias a dichas fuerzas una gota de agua también dispone de una membrana que permite sin más el paso de un grano de polvo. En este caso actúan fuerzas de enlace moleculares de tal naturaleza que permiten el paso de determinadas sustancias, impidiendo el de otras. Esta finísima membrana es menos una protección contra agentes externos que una especie de filtro que sólo permite el paso de lo deseado, impidiéndoselo a lo no deseado, incluso aunque se aplique energía para ello. Otras membranas constituyen en el protoplasma de

la célula una estructura compleja, convirtiéndose así en órganos de sostén. En el caso de las plantas pluricelulares se forman paredes sólidas que brindan protección y soporte. Sobre todo en tierra, donde las plantas crecen luchando entre ellas por conseguir el sol y, por consiguiente, deben elevarse lo más posible, tiene especial importancia la existencia de esta pared celular constituida por celulosa. Cuando, en contra del *gradiente osmótico,* absorbe líquido, genera una sobrepresión interna que convierte a la célula en un material de construcción capaz de oponer resistencia. En el caso de las plantas que alcanzan un mayor desarrollo, las paredes celulares se refuerzan y vuelven más densas con la inclusión de sustancias sólidas, es decir, se *lignifican.* En las células se almacenan también las materias de desecho, muriendo y dando lugar al material elástico que compone los troncos y las ramas. De este modo, las membranas y las paredes constituyen, de forma directa o indirecta, el esqueleto de sostén de las plantas.

En los animales la situación es distinta. Tienen necesidad de desplazarse para perseguir y atrapar a la presa, motivo por el cual las paredes celulares de celulosa no les resultarían útiles. También disponen de una pared celular que, sin embargo, es más delgada, sensible y elástica. Mediante órganos celulares especiales, las *tonofibrillas,* las diversas células se agrupan en una estructura pluricelular. Las células que revisten al organismo pluricelular se especializan, primero, en la formación de una membrana monoestratificada. El anfioxo, que es uno de nuestros parientes más antiguos, nos muestra hoy un *epitelio* sencillo de este tipo. En el subsiguiente proceso evolutivo, tanto entre los vertebrados como entre los restantes metazoos agrupados bajo el nombre de *invertebrados,* se formó más tarde, por caminos diferentes, una membrana estratificada, cuyas células se especializaron para la protección y la defensa. Entre nuestros parientes más antiguos, los erizos de mar nos muestran cómo las células de la hipodermis segregan placas de cal, formando así púas de gran eficacia. En los gasterópodos, los moluscos y los crustáceos las células cuticulares forman impresionantes corazas. También entre los peces más antiguos

y carentes de mandíbulas se formó una coraza cutánea, lo mismo que en los *placodermos* (tabla 5). Estos últimos aparecieron hace unos 450 millones de años y se extinguieron hace unos 300 millones de años. Para los animales depredadores, la coraza representa toda una serie de inconvenientes. Dificulta los movimientos y el intercambio gaseoso con el entorno, reduce el contacto sensorial y aumenta el peso. Los placodermos tenían dura sólo la parte delantera, mientras que la porción de la cola que les propulsaba no lo era. Si habían desarrollado ojos y aletas pectorales móviles, disponían de orificios. Parientes de estos peces, antepasados de los tiburones actuales, alcanzaron una solución mucho mejor. Formaban asimismo una coraza, si bien constituida por diminutas placas situadas imbricadas, a las que llamamos *escamas*. Una coraza de este tipo es móvil y puede extenderse a lo largo de todo el cuerpo. Sin embargo, durante la conquista de la tierra firme resultó ser muy pesada y constituyó una desventaja. Tan sólo en el borde de la boca, donde dieron lugar a los dientes, dichas escamas perduraron hasta el ser humano (tabla 3). Los anfibios actuales nos muestran cómo estas placas, que en el agua habían constituido una ventaja, involucionaron por completo. En su caso, las secreciones mucosas se convirtieron en otra forma de defensa. Estos animales son escurridizos, se zafan con facilidad. Sin embargo, en sus descendientes los reptiles surgieron más tarde, a partir de una sustancia córnea ligera, de nuevo placas. Mientras que las escamas de los tiburones y de los teleósteos aparecían total o parcialmente a partir de los estratos celulares inferiores, la piel de muchos reptiles (lagartos y serpientes) se forma exclusivamente a partir de las capas celulares superiores, la *epidermis*. En los mamíferos estas escamas experimentaron una regresión, debido, en buena medida, a su paso a la homeotermia, ya que para la regulación térmica se precisa un contacto lo más directo posible entre la piel y el aire para que, cuando se produzca un sobrecalentamiento interno, pueda generarse frío por sudación y evaporación y sea así posible reducir la temperatura de la sangre. Uno de los mamíferos primitivos cuyos descendientes han llegado hasta la actualidad, los pangolines, nos

muestra un cuerpo completamente cubierto por una coraza de escamas. En los restantes mamíferos esa coraza es sustituida por un revestimiento protector de pelos, de cuya aparición trataremos más adelante como de un momento estelar especial.

Con ello no se han agotado todavía las funciones de las células de la piel. Otra posibilidad de defenderse de los ataques de los enemigos la constituyen las glándulas venenosas. Incluso aunque no puedan ayudar al animal apresado sino tan sólo dañar al atacante, resultan ya útiles en este aspecto. La mayoría de los depredadores tienen la capacidad de aprendizaje y en el futuro evitan un alimento tan indigesto. O bien, y esto resultó ser mucho más importante, los depredadores alcanzan, con el correr del tiempo y la sucesión de las generaciones, mediante modificaciones en su material genético, mecanismos innatos de reconocimiento que les avisan después, de manera instintiva, de la presencia de presas venenosas. Muchos individuos quedan así en el camino, pero al final la secreción de veneno se convierte en una defensa eficaz. Junto a dichas glándulas venenosas, se formaron células epiteliales, las mencionadas glándulas sudoríparas (en la piel del ser humano hace 2 millones de años), así como glándulas sebáceas que segregan una sustancia grasienta importante para el cuidado de los pelos y las glándulas odoríferas que trataremos en especial cuando nos ocupemos del pelo. Además de esto, se tienen los numerosos órganos sensoriales de la piel: en el ser humano los 3 millones de los que dispone, tanto unicelulares como pluricelulares, le sirven para avisarle de la presión, el frío, el calor, el dolor y de los estímulos gratos y de otro tipo. Contemplado desde este punto de vista, la piel, en su conjunto, está lejos de ser un órgano sencillo. Las células que la constituyen cumplen cometidos muy diferentes y a través de un largo camino evolutivo llegaron a la formación de estructuras funcionales muy distintas. Como primer momento estelar de dicha evolución, que contemplamos junto al de los huesos, debe considerarse el instante en que en los organismos primitivos más sencillos se formó, gracias a moléculas adecuadas, la primera membrana protectora. Evidentemente, esto sucedió mucho antes de la aparición

de las primeras células anucleadas, antes de la aparición de las primeras plantas y animales, es decir, hace unos 3.800-3.500 millones de años.

El segundo momento estelar se refiere a la evolución que condujo a la formación de los huesos de nuestro esqueleto interno y se sitúa hace 1.200-1.000 millones de años. Por aquel entonces, en los organismos pluricelulares sencillos, determinadas células se especializaron en mantener unido el cuerpo desde el interior. Como ya hemos señalado, en la célula aislada esta función la cumplían membranas que formaban una estructura llamada *retículo endoplasmático,* y entre los metazoos otros orgánulos celulares, las *tonofibrillas,* se ocupaban de la unión de las diversas células. Sin embargo, en los organismos animales pluricelulares de mayor tamaño esto no bastaba para conseguir que el cuerpo se mantuviese unido y se sostuviera. Por consiguiente, células de tejido conjuntivo *(fibroblastos)* esféricas o estrelladas, que se formaron entre la piel y el tubo digestivo, asumieron otras funciones. Están dotadas, al igual que algunas amebas, de apéndices largos y segregan sustancia gelatinosa formando en su interior un tejido de fibras más o menos denso. Hay una gran variedad de tipos, unen los órganos entre sí, llenan los espacios vacíos, ayudan a cerrar las heridas, regeneran partes perdidas o dañadas, forman (entre la piel y los músculos) una capa elástica y están presentes y dispuestas en cualquier lugar del marco de la gran comunidad celular para llevar a cabo los servicios requeridos. Cuando nos lavamos con una esponja de baño natural, lo estamos haciendo con el esqueleto fibroso primitivo de este animal elaborado por sus fibroblastos. Mientras este animal sésil con aspecto de planta vive, su sistema de cavidades laberínticas está revestido de células especializadas y su superficie externa de un epitelio celular. Mueren cuando la esponja es arrancada del fondo marino y sacada al aire, pudriéndose asimismo las células del tejido conjuntivo. Lo que queda es el tejido de fibras creado por ellas. Cuando un ser humano envejece, su piel se arruga, ya que los tejidos conjuntivos han perdido su fuerza y elasticidad. En los primeros meses de vida el embrión está constituido en buena

medida por fibroblastos. Entre sus tareas especializadas más sorprendentes están su participación en la córnea del ojo y la formación del humor vítreo del interior de éste. Algunos de ellos se desplazan como amebas por el interior del cuerpo: son los *linfocitos*, grupo al que pertenecen también los glóbulos blancos. En efecto, todo el sistema linfático está formado por células de tejido conjuntivo. También los tejidos adiposos están formados por ellas. Los tejidos cartilaginosos y los huesos de nuestro esqueleto son estructuras muy especiales, y con ello llegamos al tercer y cuarto momentos estelares.

Los primeros cartílagos se formaron en la serie de nuestros antepasados, tercer momento estelar, hace 700-500 millones de años en nuestros antepasados peces. El cartílago se forma a partir de células de tejido conjuntivo por deposición de sustancias más duras en la sustancia intermedia gelatinosa segregada por él y por un entrelazado cada vez más intenso de las fibras que lo cruzan. El material elástico así formado se amplía, mientras que las células constituyentes quedan cada vez más separadas. Al final están totalmente aisladas unas de otras, tan sólo alimentadas mediante finos conductos linfáticos. Los vasos sanguíneos no penetran en los cartílagos. El esqueleto de los tiburones y de las rayas es de esta sustancia. Del mismo modo, en todos los vertebrados, y con ello también en el ser humano, el esqueleto del embrión está constituido inicialmente por cartílago. En el transcurso del desarrollo posterior, éste es sustituido, pieza a pieza, por células óseas, *osteoblastos*. También aquí podemos leer en el desarrollo del embrión cómo se produjo, en el pasado remoto, la evolución, cómo el esqueleto cartilaginoso original se transformó lentamente en un esqueleto óseo. Sin embargo, no todo se osifica, en el cuerpo humano existen todavía muchos elementos cartilaginosos, como, por ejemplo, el soporte de las orejas o el de la nariz prominente, toda la laringe, las superficies articulares de los discos intervertebrales, las de los huesos huecos, las piezas elásticas de unión entre las costillas y el esternón, el menisco de la rodilla, los anillos de soporte de la tráquea y algunos otros. En los seres humanos tiene especial importancia la *sínfisis*, una hendidura

situada entre las porciones planas de la pelvis. Discurre por delante, en la línea media, y está recubierta por una sustancia cartilaginosa facilitando el parto en la mujer. Cuando el feto es expulsado del cuerpo de la madre mediante las contracciones musculares de la matriz, debe pasar a través del estrecho cuello de la pelvis, lo que se ve dificultado por el gran desarrollo del cerebro humano y, con ello, de la cabeza. La estructura elástica de la sínfisis sirve, pues, de ayuda durante el parto; además, en el recién nacido el esqueleto craneal está formado, en buena medida, por tejido conjuntivo, razón por la cual es deformable. Sólo al alcanzar los veinte años de edad se completa definitivamente la osificación del esqueleto humano.

El siguiente momento estelar en el camino evolutivo del esqueleto de soporte interno fue, hace 400-380 millones de años, el reforzamiento de las estructuras cartilaginosas mediante los osteoblastos. Éstos ya habían formado en los antepasados sin mandíbula las corazas externas y ahora participaban en la construcción del esqueleto interno. El proceso seguido no consiste en que un fibroblasto vaya acumulando cada vez más sustancia calcárea hasta convertirse en un hueso. Dado que el fibrocito se encuentra inmerso como una isla en el material que ha creado, una vez concluida su elaboración apenas puede influir sobre esta estructura. La situación es totalmente distinta en las células que dan lugar a los huesos. Por muy duros, muertos y pétreos que puedan parecemos éstos, están llenos de vida, son una «piedra» de constitución orgánica que, además, posee la capacidad de crecer y variar su forma. Una prueba de ello la constituye la curación de cualquier rotura ósea.

Los huesos se originan de dos maneras: por formación directa a partir de tejido conjuntivo, como ocurría entre los placodermos y como sucede con los huesos que encierran nuestro cerebro en un cráneo, o mediante el desplazamiento y la sustitución de la estructura cartilaginosa, proceso que se verifica en todos los huesos de nuestros brazos y piernas, en los de la columna vertebral y de las costillas.

La capacidad de las células de «rediferenciarse» ayuda a muchos animales a cambiar su estructura, en especial a los insectos en el curso de la *metamorfosis.* La oruga se convierte en pupa y, siguiendo determinados mecanismos genéticos, su cuerpo experimenta una total transformación, saliendo de la oruga la mariposa cuya estructura es por completo diferente. Durante este proceso se eliminan tejidos y se construyen otros, es un proceso muy riguroso pero apacible y que discurre conforme a un plan. La cuestión es diferente en el caso del desplazamiento y sustitución de los cartílagos por parte de los huesos. No se trata, en este caso, de una pacífica carrera de relevos en la que uno cede el puesto al siguiente concursante. Los fibroblastos se disuelven y son eliminados, aunque no sin resistencia, pues continúan multiplicándose todavía hasta ser totalmente arrollados. Durante el proceso los vasos sanguíneos se convierten en aliados de los osteoblastos. Mientras que rodean todos los cartílagos en una especie de malla y dejan su alimentación en mano de la linfa que penetra en los intersticios celulares, los osteoblastos (las células generadoras de tejido óseo) son apoyados de forma activa por los vasos sanguíneos, marchan juntos y unidos y continúan estándolo después de la lucha victoriosa, existiendo una estrecha vinculación entre ellos. La estructura cartilaginosa se deshace y la sangre aporta constantemente el oxígeno necesario para ello. Al igual que los fibroblastos, sus «antecesores», los osteoblastos tienen también el aspecto de amebas dotadas de finas prolongaciones. Su forma se parece a la de las células ganglionares menos ramificadas del cerebro. Al igual que éstas, las prolongaciones largas se unen entre sí, si bien en este caso no para transmitir señales sino para la mutua alimentación. En el espacio que se encuentra entre estas finas prolongaciones se segrega en primer lugar una sustancia de tejido conjuntivo gelatinosa, atravesada de fibras, y más tarde se deposita cal.

TABLA 15. Esqueleto interno o externo: una pequeña causa de grandes consecuencias

Figuras: **1** pata posterior de un insecto (chinche de las plantas) con esqueleto externo, **2** pata posterior de un vertebrado (rana) con esqueleto interno. a = cubierta quitinosa, b = músculos en el interior del tubo de quitina, c = articulación, d = hueso, e = músculos insertos en un hueso.

La formación de organismos pluricelulares de mayor tamaño sólo fue posible cuando produjeron órganos que mantuvieron unidas los miles de millones de células que forman su cuerpo. Existían tres posibilidades. En primer lugar: un tejido de sostén lo más compacto posible. En segundo lugar: una cubierta rígida que sujeta el cuerpo desde el exterior *(exosqueleto).* Y en tercer lugar: puntales rígidos en el interior del cuerpo *(esqueleto interno).*
La primera posibilidad se plasmó en los moluscos, que, sin embargo, sólo podían formar cuerpos de cierto tamaño en el medio acuático en el que el empuje del agua neutraliza la fuerza de la gravedad. Los calamares, que, salvo la pequeña pluma interna, carecen de esqueleto y, sin embargo, tienen tentáculos de hasta 10 metros de largo (calamares gigantes), alcanzaron aquí una gran eficacia (tabla 4). La segunda posibilidad se realizó en los *artrópodos:* los crustáceos en el agua y los arácnidos y los insectos en el medio aéreo. Su cuerpo está rodeado de una coraza de quitina, que en el agua lleva depósitos calcáreos, que protege a la colonia celular y, al mismo tiempo, le sirve de sostén (1). Lo mismo que sucede con toda función doble, esto supone un ahorro y, por lo tanto, una ventaja. Sin embargo, en la tierra firme donde la fuerza de la gravedad actúa plenamente, la coraza se convirtió en un factor limitante. Cuando aumenta el cuerpo, el volumen y el peso crecen más (a^3) que la sección de las piezas (b^2) que lo soportan. Por esa razón, los crustáceos pudieron alcanzar en el agua dimensiones notables (langostas, bogavantes), mientras que los insectos y los arácnidos que vivían en tierra tenían un límite a su crecimiento. Esto limita asimismo el número posible de células cerebrales y con ello la posibilidad de alcanzar una inteligencia superior (cf. págs. 186-187).
La tercera posibilidad se hizo realidad en los vertebrados: el esqueleto interno cartilaginoso u óseo (fig. 2). Para doblar, contraer o estirar (b, e) las patas, los músculos deben seguir en este caso un curso distinto, presentando menor complicación el problema de las articulaciones (c). Una pequeña causa de grandes consecuencias: los protóstomos (tablas 5 y 9) adquirieron en una fase temprana de su evolución un sostén orgánico mediante tejidos compactos o formación de corazas y, por consiguiente, cuando algunos de sus representantes conquistaron la tierra firme 700 millones de años más tarde, no pudieron formar cuerpos de gran tamaño. Por el contrario, dentro del grupo de los deuteróstomos, los protocordados ad-

quirieron el sostén del cuerpo mediante un esqueleto interno. Los vertebrados descendientes de ellos continuaron esta evolución y, cuando colonizaron la tierra, pudieron formar cuerpos grandes y, por tanto, cerebros de mayor tamaño con muchos más ganglios. Este fue el requisito esencial para que a partir de esta línea evolutiva, 800 millones de años después de la formación del esqueleto interno, pudiera aparecer un ser vivo con una capacidad intelectual superior al promedio: el ser humano.



1. Pata de insecto

2. Pata de rana

Todos los huesos tienen en común, independientemente de su modo de aparición, el hecho de estar revestidos por una capa muy calcificada y por ello muy dura. En su interior se encuentra un entramado de trabéculas denominado *tejido esponjoso*.

Sin embargo, esta denominación no hace justicia a la resistencia y la utilidad de estas trabéculas. En los huesos sometidos en determinada dirección a tensiones o tracciones, las trabéculas se alinean del mismo modo que las colocaría un técnico basándose en cálculos estadísticos. Más aún: al romperse un hueso, si varía esa dirección de la fuerza aplicada, las trabéculas se adaptan a las nuevas líneas de tensión. Este ejemplo muestra en qué medida el hueso está dotado de mayor vida y eficacia que sus antecesores, y «oponentes», los cartílagos.

Más sorprendente todavía es la perfecta disposición regular en el interior de la superficie exterior dura del hueso, el *tejido compacto*. Los osteoblastos forman alrededor de los vasos sanguíneos estructuras columnares que se vuelven más densas al depositarse sobre ellas capas concéntricas, hasta unirse formando bloques con las columnas próximas. Mediante los canales transversales que conducen hacia el exterior del hueso, se facilita la comunicación con los sistemas circulatorio y nervioso central. Los huesos largos de los brazos y las piernas están huecos por dentro. En esta cavidad interna se encuentra la médula ósea, que durante el desarrollo embrionario es el lugar de formación de los glóbulos rojos, y más tarde un almacén de energía en forma de grasa. Teniendo en cuenta todo esto, el hecho de que toda esta compleja estructura pueda crecer, es decir, variar su tamaño, resulta muy misterioso. Si los cambios genéticos acaecidos en la evolución de los vertebrados no hubieran creado esta facultad, no existiríamos.

Los huesos crecen: comparando el esqueleto de un recién nacido con el de un adulto se ve en las diferencias de tamaño las transformaciones producidas. Los polifacéticos fibroblastos no sólo forman osteoblastos sino también osteoclastos, células destructoras del tejido óseo. Durante el crecimiento de un hueso largo los osteoclastos destruyen en su interior vacío la artística estructura de columnas, mientras que por fuera, simultáneamente, los osteoblastos construyen otras nuevas. Si tomamos con la mano un hueso largo seco, parece un trozo de piedra de forma muy característica. En realidad, en su interior hay vida. Su crecimiento es igual de dramático que su nacimiento

por sustitución del tejido cartilaginoso, su adaptación a la presión y tracción a las que está sometido. Durante el desarrollo del niño, los huesos deben cumplir constantemente su función, a pesar de los cambios de forma. ¿Cómo aumentan de longitud los huesos largos? Mediante la destrucción por dentro y la construcción por fuera lo único que puede suceder es el aumento del diámetro. También en este caso debe buscarse una explicación en los cambios genéticos. Cerca de las articulaciones estos huesos poseen una zona cartilaginosa que se transforma en sustancia ósea cuando el aumento de longitud del hueso se ha completado, es decir, entre los 18 y los 20 años de edad del individuo. Hasta entonces, se forman en estas zonas de crecimiento todos los osteoblastos nuevos que se requieren. Es evidente que los nervios y las hormonas deben ejercer un control constante, ya que los animales en los que las dimensiones de los miembros fuesen diferentes no resultarían aptos para las exigencias de la vida y de la lucha por la competencia. Además de ello, el volumen y el peso de un cuerpo aumentan con el cubo y la sección de las superficies de soporte sólo con el cuadrado. Por este motivo, la dimensión de los huesos de los animales pequeños es completamente distinta al de los grandes, lo que hace que en el elefante los huesos sean proporcionalmente más resistentes que en la musaraña. De este modo, en el niño las relaciones son también distintas a las que existen en los adultos.

Esto nos lleva de nuevo a las plantas pluricelulares, cuyo esqueleto de soporte comentamos al comienzo de estas consideraciones. Un viejo roble necesita un tronco de diferente grosor que un ejemplar joven. Por consiguiente, al crecimiento de los árboles se le imponen en este mismo contexto los mismos límites que al de los vertebrados, si bien sólo en tierra. En él agua, el empuje reduce en gran medida, o incluso elimina, el efecto de la fuerza gravitatoria. Así pudieron desarrollarse en las aguas mamíferos de 30 metros de longitud y hasta 100 toneladas de peso, las ballenas que regresaron al mar. Sin embargo, tienen el mismo número de vértebras que una musaraña o una jirafa. No obstante, estos huesos se adaptaron, mediante

innumerables variaciones del material genético, a las condiciones de vida imperantes en cada caso. Algunos huesos involucionaron y otros se fundieron con otros, pero, en principio, todos los vertebrados están dotados de la misma estructura ósea. Nos enfrentamos, por lo tanto, a una evolución larga y compleja, cuyo primer momento estelar fue la aparición de una membrana de revestimiento. Se completó dando lugar a la membrana celular, que se convirtió, en las plantas pluricelulares, en órgano de sostén, a partir de la cual, en el posterior desarrollo, apareció el material de construcción para un esqueleto de soporte interno.

En los animales, esta membrana mantuvo la función de protección, asumiendo las células formadas cada vez más funciones nuevas. A lo largo de mucho tiempo, hasta los reptiles, fueron apareciendo nuevas estructuras y funciones, si bien esto no constituyó un nuevo momento estelar determinante para nosotros, los seres humanos. En el esqueleto interno se produjeron, durante este período, muchas más cosas. Según hemos indicado ya, el segundo momento estelar de nuestro camino evolutivo fue la aparición de los polifacéticos fibroblastos. El tercer momento estelar fue la aparición del tejido cartilaginoso que es capaz ya de sostener grandes cuerpos. El cuarto momento estelar, el ataque de los osteoblastos, que, en combinación con el sistema circulatorio sanguíneo y el sistema nervioso, creó un esqueleto interno tan duro como apto para los cambios. El quinto momento estelar afecta de nuevo a un paso evolutivo de la piel. El paso a la homeotermia produjo un giro decisivo. El peligro de un excesivo enfriamiento es aquí mucho menor que el de un sobrecalentamiento. La presencia de una coraza protectora seguía siendo necesaria, pero no debía perturbar el intercambio de gases con el entorno. En los mamíferos la solución al problema vino de mano del revestimiento de pelos, y en las aves, también homeotermas que se desarrollaron más tarde a partir de los reptiles, fue el plumaje. En las plumas, los investigadores encontraron muy pronto indicios claros de que se habían desarrollado a partir de las escamas de los reptiles. Las plumas son tanto una buena protección corporal como un buen

instrumento para el vuelo. En cuanto al pelo la situación es completamente distinta. Se trata de una estructura nueva en la que, sin embargo, la disposición sigue recordando la del antiguo revestimiento de escamas. En las aves, a partir de cada escama, apareció una pluma. En los mamíferos, surgieron más de un pelo, por lo general tres, a partir de cada una de las escamas. En la pluma, del raquis parten barbas provistas de bárbulas que forman la lámina, tan ligera y apta para el vuelo, la protección y la regulación térmica. Al igual que las escamas córneas de los reptiles, las plumas córneas de las aves están imbricadas. Tanto en los pelos como en las plumas una sustancia grasienta permite la flexibilidad del material córneo del cual están formados. Un ejemplo de los diversos caminos necesarios para que apareciesen estas unidades que cumpliesen esos cometidos, es que en la raíz de cada pelo se formaron de una a tres glándulas que segregan esa sustancia. Sin embargo, en las aves se desarrolló a ambos lados de la cola, en su nacimiento, una glándula (la *glándula uropigial)* que segrega esa sustancia. El ave la toma con el pico y frota con ella las plumas, que quedan así impermeabilizadas. Paralelamente a las glándulas, tuvieron que aparecer unos mecanismos de comportamiento innatos para que la cabeza y el pico realizaran los movimientos correspondientes, ya que ni el comportamiento de las moscas ni esta coordinación de movimientos es un acto inteligente.

El pico de las aves es asimismo una estructura córnea de la piel. Mientras que el ave primitiva *Archaeopteryx*, conservado en numerosos restos fósiles, tenía todavía dientes que, al igual que los nuestros, procedían de las escamas redondas del tiburón ancestral, en todas las especies actuales han involucionado y hoy no aparecen ni durante el desarrollo embrionario. A partir de la epidermis de los reptiles que se queratinizaba surgieron, además de los pelos y las plumas, las garras, que en el caballo se convirtieron en pezuñas y en nosotros en uñas. Cuando nuestros antecesores primates abandonaron las selvas que empezaban a aclarar hace 28-22 millones de años y pasaron a las sabanas como depredadores, el pelaje se convirtió en una desventaja durante la persecución de la presa. Se calentaba demasiado

y, por consiguiente, involucionó, si bien lo hizo sólo en aquellas zonas donde ya no se le necesitaba. El pelo permaneció en la cabeza como protección contra el calor y el frío, así como a modo de cojín que protegiese de los golpes a nuestro cerebro. Por encima de los ojos se conservó una delgada banda de pelos para proteger estos órganos frente al sudor que se deslizaba por la frente. En las axilas y en las áreas genitales el pelo continuó siendo un elemento auxiliar de las glándulas olorosas que ahí se encuentran y que forman parte de los instrumentos de la sexualidad. Dichos pelos actúan como «dispersores». Las sustancias olorosas segregadas se reparten sobre su superficie y así pueden acceder al aire y dispersarse. El hecho de que el pelo de nuestra cabeza, las cejas y las pestañas que protegen al ojo del polvo adoptasen como función secundaria una misión señalizadora en el comportamiento de la pareja lo podemos ver en cualquier mujer sin necesidad de haberlo aprendido. Una cabellera bonita, unas pestañas largas y unas cejas cuidadas aumentan la fuerza de atracción, son desencadenantes de reacciones positivas en el otro sexo. Por contra, los pelos que nacen en las cavidades nasales no aumentan las posibilidades de convertirse en reina de la belleza. Se conservaron porque son necesarios como filtro del polvo, como protección de las células olfativas sensibles y, sobre todo, para impedir la entrada de suciedad al pulmón.

A quien albergue todavía dudas de que los seres humanos descendemos del velloso mono le recomendaríamos estudiar los músculos horripilantes que ponen en erección el pelo de los mamíferos. La función de este dispositivo es la protección térmica. Cuando los pelos están erguidos, el espesor del pelaje es mayor y con ello también la capa aislante. La segunda función que adoptó fue la de un medio de imposición, de crear miedo en el enemigo, en los congéneres o en la pareja. Lo que parece más grande da la impresión de ser más poderoso. En el ser humano este revestimiento protector de pelo experimentó una gran regresión y tan sólo quedó vello, en lugar del pelaje del que disponíamos antes sobre las partes ahora desnudas de nuestro cuerpo. Los músculos que ponían erizados los pelos siguen

en su sitio y actúan. Su involución necesitará todavía algunos millones de años. El circuito regulador que dirige su funcionamiento sigue activo. Si tenemos frío, tiran de las raíces de los pelos existentes, con lo que provocan la aparición de pequeños levantamientos de la piel y se nos pone lo que llamamos «piel de gallina». Esto carece de sentido, ya que de este modo aumenta la superficie y con ello crece la pérdida de calor. Además, el calor generado por la tensión de los músculos hace que se pierda todavía más calor. Quien quiera continuar pensando como antes, que una voluntad consciente nos hizo como somos ahora, es decir, que un arquitecto divino nos creó, debe admitir que formó en nuestra piel varios cientos de miles de terminaciones nerviosas superfluas. ¿Superfluas? No. no sólo superfluas sino incluso desventajosas, ya que cuando hace frío aumentan nuestra superficie y potencian con ello la pérdida de calor.

Si la construcción hubiese tenido un objetivo, habría sido más razonable que los músculos se contrajesen con el excesivo calor en lugar de con el frío, y que en ese caso el aumento de la superficie potenciaría la evaporación y con ello el descenso de la temperatura. Sin embargo, un cambio de este tipo requiere millones de años con mutaciones. Por consiguiente, quien quiera una demostración clara y palpable de que descendemos de los animales y que no somos el producto de una voluntad divina, que salga a la intemperie cuando hace frío y se desvista. Nuestra piel de gallina es una demostración de ambas cosas.

LA EVOLUCIÓN DEL UNIVERSO

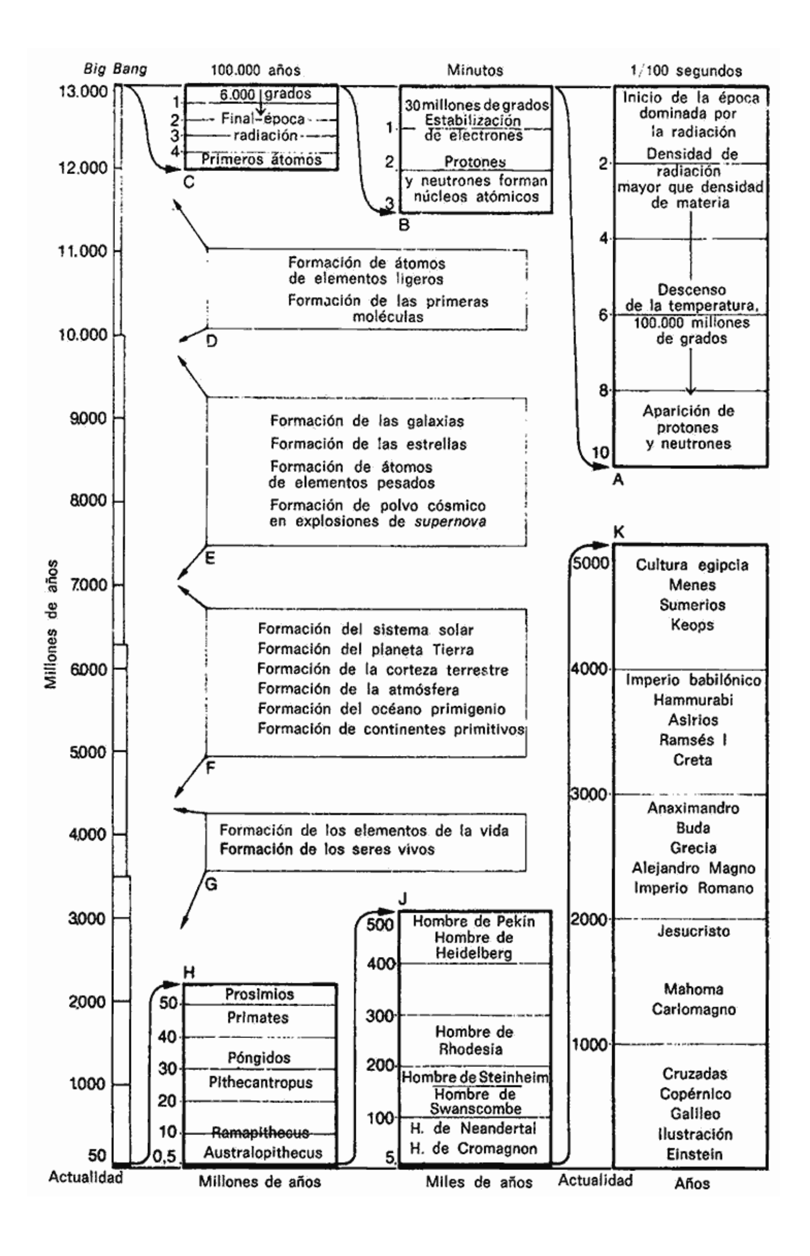
TABLA 16. El fenómeno de la «vida» en el marco del desarrollo de nuestra «patria grande», el Universo

Figuras: A = situación en la primera centésima de segundo después del «estallido inicial» o *big bang,* B = situación en los tres primeros minutos. C = en los primeros milenios, D = sucesos en el período entre 13.000 y 10.000 millones de años, E = entre 10.000 y 6.300 millones de años. F = entre 6.300 y 4.500 millones de años, G = entre 4.500 millones de años y la actualidad, H = período de aparición de los primates y, en su centro, de los primeros homínidos, J = los principales grupos de hombres primitivos fósiles durante los 500.000 últimos años, K = algunas culturas destacadas y personalidades del desarrollo humano en los 5.000 últimos años.

El cerebro de cualquier ser humano (cf. tabla 10) proporciona estimaciones sujetas a la influencia del material genético o de la tradición y la educación, que fijan el pensamiento por derroteros determinados. A esto se añade que la capacidad de este complejo orgánico tiene límites funcionales, algo sobre lo que ya llamó la atención Immanuel Kant y que los resultados de investigación de la física moderna han confirmado. Nuestro cerebro no puede imaginarse la «equivalencia entre energía y materia», es decir, que la materia se origine a partir de energía pura y que pueda transformarse de nuevo en ésta, ni tampoco puede imaginarse la relatividad del espacio y el tiempo propuesta por Einstein, ni un espacio curvo finito, como tampoco uno que se expanda. La física atómica, una de cuyas principales herramientas es el número, aumentó también nuestros conocimientos acerca de los inicios del Universo y de los procesos que tienen lugar en el interior de las estrellas. Según la opinión actual, nuestro Universo surgió hace unos 13.000 millones de años con una explosión de envergadura inimaginable. Se la denomina, de manera bastante lapidaria, «explosión inicial» o *big bang,* y su «eco» nos llega hasta la actualidad en la radiación de fondo de microondas, descubierta en 1965. A partir de este eco y de otros resultados de la investigación fue posible reconstruir los detalles de este comienzo dramático.

Durante la explosión inicial sólo había energía de intensidad y densidad inimaginables. Las partículas de materia que se formaban se aniquilaban mutuamente, transformándose de inmediato en energía. En la primera centésima de segundo después de esta manifestación, que no surgió de un único punto «sino que se produjo de manera simultánea en todos sitios», la temperatura descendió a unos 100.000 millones de grados y se consolidaron las partículas elementales que constituyen todos los núcleos atómicos: los pesados y estables *protones* y los *neutrones* (A). El Universo era varios millones de veces más pequeño que en la actualidad. La energía que lo llenaba en la que, como si fuera una sopa en ebullición, se formaban

pequeñas partículas de materia que volvían a destruirse, tenía una densidad unos 4.000 millones de veces superior a la del agua que conocemos. En el curso de los tres primeros minutos, mientras que el Universo se expandía bajó más la temperatura hasta que se formaron también partículas elementales ligeras, entre ellas los *electrones,* dentro de esta constante formación y aniquilación (B). De 300 a 500.000 años después, estos últimos formaron con los protones, alrededor de los cuales orbitaban, los primeros átomos: los átomos de hidrógeno (C). Sin embargo, el «principio» no fue este elemento sino la energía.
En los 3.000 millones de años que siguieron, se produjo la formación de átomos de otros elementos *ligeros,* además de las primeras agrupaciones atómicas llamadas *moléculas* (D). Siguió la formación de las nubes de gases que poco a poco se condensaron para dar galaxias, y aparecieron las estrellas en cuyo interior, como si se tratara de incubadoras, se formaron los átomos de los *elementos pesados.* En otras exploraciones gigantes *(supernovas)* esas estrellas resultaron destruidas y los átomos que se habían formado en ellas se dispersaron por el Universo (E). En este proceso de apariciones y desapariciones surgió nuestra *Vía Láctea,* y hace unos 6.500 millones de años nuestro Sistema Solar y el planeta sobre el que vivimos (F, cf. tabla 11). Después de que se enfriara la corteza de la Tierra, hace unos 4.000 millones de años comenzó el proceso de la *vida,* que se continuó a través de estructuras moleculares capaces de crecer y multiplicarse, los *seres vivos,* y que representa un despliegue energético de potencia y volumen crecientes (G, cf. tabla 4; pág. 107). Hace unos 60 millones de años aparecieron los primeros primates y de entre ellos, hace 4-0,5 millones de años, los primeros «hombres primitivos» (H). Existe un número creciente de fósiles de estas líneas evolutivas de los últimos 500.000 años (J). La transmisión histórica del progreso cultural comenzó hace unos 5.000 años (K). Las ciencias exactas no cuentan con más de 350 años. Sin embargo, el primer pensador que vislumbró nexos causales verdaderos vivió hace 2.500 años. Fue el filósofo griego Anaximandro, que afirmó que la causa primitiva del mundo no era una sustancia material «sino un permanente devenir» y que el ser humano «procedía de antecesores peces».



Big Bang
100.000 años
Minutos
1/100 segundos
13.000
12.000
11.000
10.000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
50
Actualidad
Millones de años
6.000 grados
Final época radiación
Primeros átomos
C
30 millones de grados
Estabilización de electrones
Protones y neutrones forman núcleos atómicos
B
Inicio de la época dominada por la radiación
Densidad de radiación mayor que densidad de materia
Descenso de la temperatura, 100.000 millones de grados
Aparición de protones y neutrones
A
Formación de átomos de elementos ligeros
Formación de las primeras moléculas
D
Formación de las galaxias
Formación de las estrellas
Formación de átomos de elementos pesados
Formación de polvo cósmico en explosiones de supernova
E
Formación del sistema solar
Formación del planeta Tierra
Formación de la corteza terrestre
Formación de la atmósfera
Formación del océano primigenio
Formación de continentes primitivos
F
Formación de los elementos de la vida
Formación de los seres vivos
G
H
Prosimios
Primates
Póngidos
Pithecantropus
Ramapithecus
Australopithecus
Millones de años
J
Hombre de Pekín
Hombre de Heidelberg
Hombre de Rhodesia
Hombre de Steinheim
Hombre de Swanscombe
H. de Neandertal
H. de Cromagnon
Miles de años
K
Cultura egipcia
Menes
Sumerios
Keops
Imperio babilónico
Hammurabi
Asirios
Ramsés I
Creta
Anaximandro
Buda
Grecia
Alejandro Magno
Imperio Romano
Jesucristo
Mahoma
Carlomagno
Cruzadas
Copérnico
Galileo
Ilustración
Einstein
Actualidad
Años

XIII. ÓRGANOS DEL MOVIMIENTO

Stefan Zweig siguió, en sus *Momentos estelares de la humanidad,* una perspectiva de poeta. En el presente libro tratamos el mismo tema pero desde la perspectiva biológica, desde el punto de vista de la evolución descubierta por la investigación, que convierte a todas las plantas y los animales, incluido el ser humano, en parientes y seres con un mismo destino. Hemos topado con innumerables indicios de que, en contra de la opinión transmitida desde la antigüedad, el ser humano no es en modo alguno el resultado de un acto creador deseado, de que en la evolución de las plantas y de los animales no puede reconocerse la acción de una mano divina que haya dirigido esta evolución con una meta concreta hacia una mayor perfección.

Por otro lado, cualquier animal o planta, en especial si se estudia su cuerpo y formas de comportamiento de una manera detenida, presenta una idoneidad tan increíble que parece casi inexplicable que todo esto haya podido aparecer sin un plan, una voluntad o un objetivo, sin un esfuerzo dirigido hacia una meta. ¿Debe de haberse producido todo esto a través de las *mutaciones,* es decir, de los cambios casuales de la herencia genética, y de las nuevas combinaciones a través de la mecánica de la sexualidad? Nuestro cerebro se resiste resueltamente a esta visión, a esta presunción. Y nuestra propia experiencia parece darnos la razón. ¿Cuándo se ha visto aparecer una obra sin haber hecho nada? ¿Qué cantidad de paciencia y esfuerzo requiere cualquier obra deseada, cualquier creación propia? ¿Y todo esto tiene que haber sucedido por casualidad? ¿La forma tan sutil de las flores y de las mariposas? ¿La estructura tan completa del cuerpo de una abeja o de una pantera, o incluso del ser humano? ¿El comportamiento tan sorprendentemente diferenciado de un pájaro jardinero o de un icneumónido, o la genialidad de un Beethoven y un Einstein?

Entre los filósofos griegos, con Empédocles apareció ya la idea de que en este caso nuestro cerebro posiblemente confunde la causa con el efecto. Si consideramos los seres vivos como un efecto, es decir, como una obra, entonces tiene sentido preguntarse por su causa, es decir, por el causante intencionado. Si, por el contrario, vemos en los seres vivos una estructura adecuada para determinados efectos, entonces ellos mismos son la causa. En este caso una distribución muy determinada de partes genera un efecto muy concreto, que es el de continuar existiendo. Lo que es adecuado no es entonces el resultado de un fatigoso acto de creación sino que se impone de modo automático, es lo adecuado para el mantenimiento de un proceso. Lo inadecuado no puede reproducirse, motivo por el cual se queda en el camino. Visto de esta forma, la adecuación no es el resultado de un esfuerzo consciente sino necesidad. Muchos pensadores y filósofos se han roto la cabeza acerca del difícil tema de «azar y necesidad». Entre los filósofos griegos fue Demócrito, más tarde fue Nietzsche y en la actualidad, el biólogo francés y premio Nobel Jacques Monod, así como muchos otros biólogos moleculares más. En el fondo, se puede seguir a Monod si se desea conocer la orientación de todos estos esfuerzos y pensamientos. En su libro *El azar* y *la necesidad* formuló con toda precisión lo que quienes le siguieron intentaron demostrar después con ayuda de otros argumentos. Definió primero los seres vivos (pág. 17) [1] como «objetos dotados de un proyecto que a la vez exponen en sus estructuras y representan en sus actuaciones». Segundo, supuso que cada uno de estos planes tenía una «información» y con ello (pág. 21) un «mensajero». Tercero, es, por tanto, evidente que al organismo (pág. 62) «no se le impone su estructura macroscópica mediante la actuación de fuerzas externas». Aquí hay «órdenes» anteriores que sólo pueden encontrar explicación en su origen. Y de ello resulta la pregunta desesperada de Monod (pág. 132), que se convirtió también en sus seguidores, por

[1] Las citas corresponden a la edición alemana. Monod. J., *Zufall und Notwendigkeit*, Munich. 1971.

ejemplo, el premio Nobel Manfred Eigen, en el centro de su pensamiento y trabajo: «¿Dónde se encuentra el origen de su sorprendente diversidad morfológica y fisiológica?» Si los seres vivos tienen su origen en mutaciones, es decir, imperfecciones del mecanismo de mantenimiento, entonces la evolución no podía ser «una propiedad del ser vivo» (pág. 146).[2] Es más bien «el resultado de una inmensa ruleta».

¿Cuál es, pues, el origen de los seres vivos y de su idoneidad? La respuesta que aquí se defiende ya se ha indicado. Para toda «vida», para toda «actividad», para todo «proceso», la condición primaria necesaria es la energía. De este modo, el tipo de obtención de energía clarifica y determina la estructura fundamental de todas las plantas y animales. Independientemente de cómo apareciesen, ya fuese al azar o por acción divina, la estructura fundamental necesaria les está ya determinada, es, así, expresión de una «necesidad». Esta determina la forma que deben tener un animal o una planta para ser aptos.

Empecemos con las plantas. Están fijas a un sitio, carecen de orejas, de ojos, de boca y de patas. ¿Por qué? Porque su fuente de energía es la luz solar. No necesitan percibirla con ojos técnicamente perfectos, no tienen que correr tras ella con patas, ni vencerla con estrategias, ni atraparla, no se ven obligadas a digerirla ni a triturarla con ayuda de un tubo digestivo. Hay más rayos solares de los que se necesitan, incluso aunque durante doce horas sea de noche. Un problema de mayor envergadura es el de las sustancias necesarias. En el mar están diluidas y presentes casi en cualquier lugar, en la tierra firme hay que extraerlas del agua subterránea con la ayuda de las raíces. Por este motivo las plantas pueden florecer fijas a un lugar y no precisan órganos de desplazamiento especiales, de órganos sensoriales, de cerebro ni de órganos concretos para vencer a otros seres vivos y triturar su sustancia. Lo que necesita la planta son superficies que le permitan recibir los rayos solares, órganos situados en dichas superficies que retengan la energía

[2] Se cita por la edición alemana. Eigen, M. —Winkler. R., *Das Spiel*, Munich, 1975.

de los rayos solares, la fijen y la conviertan en servidor suyo, así como órganos para la obtención de las sustancias necesarias que precisan para mantener su estructura, desarrollarla y multiplicarla. Con esto aparece una ventaja en la lucha de competencia: la de quien eleva mejor su superficie hacia la luz, por encima de la de los demás.

Con esto queda aclarada la estructura fundamental de las hierbas, los arbustos y los árboles que nos rodean. Sus órganos centrales son aquellos que capturan la energía solar, las hojas. En la lucha con sus oponentes, se las eleva lo más posible, por encima de las de los competidores. Esto aclara la necesidad de los tallos y las ramas, ya que las hojas necesitan que se les suministren las sustancias necesarias para llevar a cabo su actividad fijadora. Esto explica, en tierra firme, la necesidad de las raíces. Otra de las funciones que cumplen, estas últimas, es la de órganos de sujeción de los tallos y troncos que cada vez se hacen más altos. Finalmente, se necesitan órganos de distribución a través de los cuales la energía obtenida por las hojas, u otras unidades fotosintetizadoras, pueda llegar a los demás órganos del cuerpo. Igualmente sucede con las sustancias que éstas necesitan. Resultado: un canguro carece de la disposición necesaria para fijar los rayos solares. Sus ojos no sirven para este propósito, sus patas son totalmente inadecuadas para ello. Es diferente en el caso del tallo de una hierba, el haya o el abeto. Todo, en ellos, se orienta hacia la función básica de la obtención de energía. Las restantes unidades realizan funciones auxiliares y se les suministra para ello lo que necesitan.

La cuestión no es distinta en los animales. Su fuente de energía son seres vivos, ya sean vegetales o animales. Deben rastrearlos, acercarse a ellos, desgarrarlos y robarles la energía almacenada en su estructura. Esto determina, en gran medida, la estructura que debe tener su cuerpo y las unidades especializadas (órganos, etc.) de que deben disponer. Las horas, las raíces o las acículas servirían de muy poca ayuda a un lobo, una mariquita o una serpiente cascabel. En primer término, necesitan unidades con las que avistar, localizar y reconocer a la presa. En segundo lugar, pero no menos importante, precisan

de órganos que les permitan aproximarse a la presa, capturarla o al menos arrancarle pedazos de su cuerpo. El animal que puede moverse, equipado con órganos sensoriales, boca y tubo digestivo, no es un diseño caprichoso. La fuente de energía dicta cómo debe ser una estructura que le permita acercarse e incorporarla a su propio organismo. De igual modo que la luz solar determina la estructura fundamental de las plantas, la presa disponible en cada momento determina la de los animales, así como la de los órganos de que debe disponer para incorporarla. En el mar existen animales que están fijos al suelo como las plantas y que dejan en manos de las corrientes marinas la tarea de llevar la presa hasta su boca. Sin embargo, esto es sólo una excepción. Por lo general, es necesario el movimiento propio, lo que nos conduce al tema del presente capítulo. Casi para cualquier especie animal, la capacidad de movimiento es la condición más importante para la obtención del alimento. No sobre la base de un conocimiento superior ni sobre la de una casualidad curiosa, sino por necesidad. Los animales a los que les falta esta capacidad no pueden imponerse, ni, mucho menos, multiplicarse. Sólo pueden hacerlo aquellos que están constituidos de tal manera que son capaces de aproximarse a su presa. Para eso tienen la ayuda de sus órganos sensoriales y algunos de ellos disponen, además, de un cerebro que les permite juzgar. Sin embargo, todo esto no les sirve de nada si carecen de la capacidad de movimiento. La presa dicta finalmente la necesidad de que exista dicha capacidad. Esto no es válido sólo en nuestro planeta, lo sería también en cualquier otro.

¿Qué hay entonces acerca de esta capacidad de movimiento, cuándo se inició? Los seres vivos más primitivos vivían inicialmente de un modo pasivo en las aguas del «caldo primigenio» que por aquel entonces todavía estaba lleno de elementos ricos en energía. Los elementos se brindaban, junto con la energía, como un regalo: aquel que durante un choque podía acercarlos hacia sí y utilizarlos tenía ventaja en la competencia. Más tarde, estos regalos comenzaron a escasear. El siguiente nivel evolutivo fue el de aquellos organismos primitivos que

supieron aprovechar otras fuentes de energía y sacaron con ello ventaja. La más potente de todas ellas es, con diferencia, la luz solar: quien pudiese arrancarle su energía se encontraba por delante de los demás. En una estructura molecular quedó atesorada esa energía y se la utilizó al servicio de los órganos, del cuerpo. Sin embargo, con ello había aparecido otra fuente de energía en el mundo, los propios organismos. Para destruir su estructura se necesita oxígeno. Las plantas lo producen como desecho, haciéndose con ello un flaco servicio, ya que abrieron así la posibilidad de existencia de los depredadores y, al mismo tiempo, crearon las condiciones necesarias que debían cumplir dichos organismos, su estructura. La estructura de los gusanos, la que precisan los peces y las medusas, la necesaria para los anfibios y los crustáceos, la que necesitan los mamíferos y las libélulas y también la estructura que precisa el mamífero llamado hombre. Junto a muchos otros portadores de funciones, órganos, los animales debían disponer de los del desplazamiento. ¿Cuál es su historia? ¿Dónde están los momentos estelares de su evolución?

Si observamos los grupos más importantes de organismos unicelulares actuales encontramos tres métodos de desplazamiento. El primero nos lo muestran las amebas que ya hemos mencionado repetidas veces y en las que la sustancia corporal, el protoplasma, se transforma él mismo en órgano de desplazamiento (tabla 19, fig. 1). Proyectan porciones de plasma hacia delante, los *pseudópodos,* y se deslizan de manera uniforme por encima del suelo. En el caso de los flagelados, el órgano de desplazamiento tiene forma de látigo que actúa como remo. Bate hacia un lado u otro, o gira, con lo que logra que el cuerpo avance. Sin embargo, también funciona al revés. Algunos de estos flagelos dejan que el flagelo les arrastre. En este caso, el flagelo se desliza como una serpiente en el agua. Tercer tipo de desplazamiento: flagelos cortos pero más numerosos, los cilios, que baten todos al mismo ritmo como los remos. Estos animales reciben el nombre de *ciliados.* Se parecen a una galera, con cientos e incluso miles de pequeños remos que la ha-

cen avanzar. Como han demostrado investigaciones más minuciosas, los tres métodos de desplazamiento se basan en el funcionamiento de una misma unidad fundamental. Se trata de moléculas de proteínas de forma especial que se unen y de esta manera ejercen una tracción. La capacidad de estas minúsculas unidades de tirar hace posible el movimiento de arrastre, así como el realizado con cilios o flagelos. El primer momento estelar de esta evolución, que se prolonga por toda la serie animal hasta el ser humano, es el de la unión de dichas moléculas para formar *fibrillas contráctiles*, llamadas también *miofibrillas*. En los organismos unicelulares actuales se las puede observar con ayuda del microscopio electrónico. El instante de su nacimiento se sitúa incluso antes del de los primeros animales, ya que las primeras plantas que obtuvieron energía luminosa necesitaban órganos de flotación y avance para no hundirse en los abismos. Por lo tanto, el primer momento estelar data de hace por lo menos 3.000-2.500 millones de años.

En el cuerpo de los animales pluricelulares algunas células se especializaron en formar, dentro de su protoplasma, la mayor cantidad posible de dichas fibrillas. De este modo aparecieron las células musculares, miocitos, alargadas, que disponen asimismo de núcleos celulares y forman en ambos extremos finas prolongaciones, un material de construcción inmejorable para tejidos mayores, formados por millares de dichas células. Sin embargo, apareció también otro tipo de miocitos. Están mucho más diferenciados y tienen una estructura bastante más complicada, siendo capaces de realizar contracciones mucho más rápidas. Las estructuras moleculares delgadas y gruesas forman segmentos de fibra que discurren paralelos como hechos a máquina y que, observados con un potente microscopio, presentan un aspecto regular estriado. Esta imagen regular aparece debido a que las secciones oscuras y claras de las fibras son paralelas entre sí. Los músculos compuestos por dichas células recibieron el nombre de *estriados* y dado que para los otros se necesitaba también un nombre que les diferenciase, se les denominó *lisos*. Ambos tipos se diferencian básicamente en

que las células de la musculatura estriada no son células normales sino estructuras gigantes en las que hay hasta varios cientos de núcleos. Estas fusiones reciben el nombre de *sincitios.* Aparecen a causa de la división de los núcleos, pero no de las células, o bien por fusión de numerosas células que de este modo forman agrupaciones multinucleadas. En el tipo estriado no se habla por lo tanto de células musculares sino de fibras musculares. Tienen un tamaño unas 10 veces mayor que las lisas, están situadas regularmente unas junto a otras y presentan aspecto de tubos de goma llenos. Se unen entre sí mediante células de tejido conjuntivo formando cordones musculares. En el ser humano, los músculos sometidos a la voluntad, es decir, aquellos con los que realizamos los movimientos, están constituidos por fibras estriadas, mientras que aquellos otros que mueven los órganos internos, por ejemplo la musculatura del intestino, los vasos sanguíneos, las glándulas, etc., están compuestos por células musculares lisas. La ventaja de estas últimas consiste en que, si bien no trabajan tan rápidamente, son mucho más ahorrativas. Cuando se necesita un acortamiento permanente, es decir, una tensión durante bastante tiempo, lo consiguen sin gastar energía. Se habla de un dispositivo de cierre tónico por contraposición a! acortamiento tetánico de trabajo de los músculos estriados. Ya que éstos también son capaces de realizar una tensión permanente, como muestran, por ejemplo, los músculos que mantienen erguida nuestra cabeza o los de la cadera que nos mantienen erectos. En este caso, sin embargo, el efecto permanente se consigue mediante una serie muy rápida de tirones individuales de las fibras musculares, 50-70 por segundo, que no percibimos. Otra ventaja de los músculos lisos es su gran capacidad de dilatación. Esto desempeña un papel de gran importancia en el caso de órganos huecos tales como la vejiga o el útero.

En muchos animales se encuentran ambos tipos de musculatura y a menudo unidos en un trabajo en equipo. Un ejemplo de ello es el músculo de cierre de la concha de los moluscos, formado por fibras lisas y estriadas. La ventaja de estas últimas

es que cuando se aproxima un enemigo o se produce una perturbación, pueden cerrar la concha a la velocidad del rayo. La ventaja de las fibras lisas es que la posición cerrada puede mantenerse después, sin consumo de energía, durante períodos prolongados de tiempo. El miocardio ocupa un puesto de excepción entre los restantes músculos. No puede descansar nunca, no puede hacer una pausa ni recuperarse. Si su actividad se detiene, entonces toda la comunidad celular muere, que en el caso de los vertebrados es al cabo de unos pocos minutos. En especial, las células cerebrales han de ser constantemente alimentadas, ya que si se detiene el aporte de sangre son las primeras en resultar dañadas y destruidas. Se ha calculado que a lo largo de una vida de 65 años, el corazón del ser humano bombea a través del cuerpo unos 20.000 hectolitros de sangre, lo que equivale a la cantidad de líquido contenida en 4 millones de botellas de cerveza. Este trabajo lo realizan miocitos de un tipo distinto, es decir, del tercer tipo. Son estriados pero no pluricelulares, es decir, no constituyen sincitios. Tienen los extremos estrellados y están unidos entre sí formando redes. No se alimentan de la sangre que fluye a través de las cámaras del corazón, sino, al igual que cualquier otro órgano, mediante vasos del sistema circulatorio. Una pequeña parte de la sangre arterial bombeada por el corazón regresa así, mediante un rodeo desde el exterior, a este órgano para alimentarle. Si estos vasos coronarios fallan, sobreviene un *infarto.* Se produce una situación paradójica: las células del corazón mueren de hambre, se asfixian y se intoxican por el dióxido de carbono generado por su incansable actividad, a pesar de que en él hay sangre con materias nutritivas, oxígeno y unidades que pueden eliminar con facilidad el dióxido de carbono. Precisamente el órgano que dispone de la circulación más intensa de sangre sucumbe por falta de ella.

En el resto del cuerpo la colaboración entre los músculos y los vasos sanguíneos es perfecta, no menos de la que existe entre éstos y los osteoblastos. Si un músculo necesita más alimento o más oxígeno, lo comunica a los vasos sanguíneos de inmediato. Éstos se dilatan y aumentan con ello el aporte de sangre necesaria. Igualmente y de manera constante, a través

de los nervios se producen respuestas a la médula espinal que, a su vez, emite las órdenes correspondientes. La coordinación de los diferentes movimientos musculares es responsabilidad del sistema nervioso central, su función más original. No se produce ningún movimiento muscular sin la correspondiente orden. Los nervios transmiten estas instrucciones a los músculos mediante prolongaciones en forma de placa, pero no de manera directa, como se creía antes, sino por vía indirecta. El potencial eléctrico que discurre a través de los nervios no produce excitaciones inmediatas en los músculos sino a través del rodeo de las sustancias que éstos segregan y que actúan sobre las fibras musculares. Allí, en el seno de las fibras musculares, la excitación de una fibrilla se extiende a la siguiente. De este modo se ponen en movimiento fuerzas inusitadas. Si se compara la energía que se consume para la transmisión de las señales a través de los nervios con la que emplean los músculos como consecuencia de la orden, la relación es de 1 a 100.000. El tiempo transcurrido antes de que el músculo se contraiga como consecuencia de la orden, el tiempo de contracción, es diferente para los diversos tipos de músculos. En la musculatura lisa del intestino de la rana es de 75 segundos. En el músculo estriado de sus patas de 0,05 segundos. En los músculos estriados que mueven las alas de una mosca es de tan sólo 0.0015 segundos. En todas las acciones violentas y rápidas le es imposible al miocito obtener la energía necesaria mediante combustión de las sustancias alimenticias. El oxígeno no puede almacenarse. Por este motivo encontró otra solución. Libera energía mediante procesos químicos que se realizan con enorme rapidez y sin necesidad de consumir oxígeno. Las baterías eléctricas contenidas en cada célula, las moléculas de ATP, se transforman en moléculas de ADP, la fosfocreatina se disocia en creatina y ácido fosfórico, y los glucógenos se disocian en ácido benzotartárico. Los miocitos movilizan así la energía que necesitan para contraerse con rapidez y con ello entran, como dicen los químicos, en una «deuda de oxígeno». Igual que sucede con un crédito bancario instantáneo, este préstamo hay que devolverlo: sólo cuando el ADP se transforma de

nuevo en ATP y se forma fosfocreatina a partir de creatina y ácido fosfórico como almacén de energía, queda el músculo preparado para la siguiente contracción. Después de la descarga explosiva, se produce la auténtica combustión del glucógeno y del ácido benzotartárico. Este proceso requiere más tiempo, que en caso de esfuerzos intensos es de algunos minutos. Los músculos estriados se ven bombardeados con órdenes que llegan a través de los nervios, que desencadenan la contracción de las fibrillas y, por lo tanto, del músculo entero. El «banco» que hay en cada una de las fibras musculares proporciona en todo momento las cantidades necesarias de energía, que después deberán ser devueltas con prontitud. El momento estelar de la evolución de estos dispositivos de tanta complejidad, sin los cuales no sería posible ni el más mínimo movimiento de nuestro cuerpo, fue el instante en que surgió el primer miocito en los animales pluricelulares. Es muy probable que se tratara del tipo «liso». El momento de este decisivo avance se remonta a hace 1.600-1.400 millones de años.

Antes de entrar en el próximo momento estelar, que se produjo poco después, hay que mencionar todavía el hecho de que en el cuerpo de los animales pluricelulares los modos de desplazamiento de los organismos unicelulares siguieron desempeñando un papel importante. Ya hemos hablado de los glóbulos blancos que circulan por nuestro interior con movimientos ameboides (tabla 19, fig. 2). Son una policía interna, eliminan residuos y destruyen los parásitos que se introducen devorándolos, y si es necesario abandonan el cuerpo con esta carga venenosa, por lo que se suicidan. Existe un gran número de otras células ameboides de este tipo. Por ejemplo, los fibroblastos que se mueven libres, las células hepáticas que se desplazan mediante pseudópodos y, sobre todo, las células ganglionares de nuestro cerebro crean así las condiciones necesarias para el proceso del pensamiento. ¿Qué sucede con los flagelados? ¿Quién sabe, al observar espermatozoides, o sea, células germinales masculinas, por el microscopio que apenas se diferencian de esos animales (tabla 19, figs. 4, 5)? ¿Y qué sucede con

los ciliados? Si observamos por el microscopio el epitelio ciliado de la tráquea, de un conducto seminal, de la cavidad nasal o de muchos tejidos de nuestro cuerpo, nos da la impresión que numerosos ciliados se han unido para formar un tejido y realizar juntos una misma tarea. Esto demuestra que los métodos de desplazamiento de los organismos unicelulares también se emplean entre los pluricelulares, o sea, que se conservan. Si nos miramos en el espejo al afeitarnos o perfilar la línea de las cejas contemplamos una cara, nuestro rostro, no un montón de células. También en este caso el yo se ha orientado de manera deficiente. Una persona corriente no se imagina ni remotamente qué es lo que se refleja en realidad en su piel o su cuerpo. Tampoco sabe de qué está compuesto ese cuerpo, ese «yo» que percibimos. Ni de qué tareas individuales, de qué unidades o qué esfuerzos.

El tercer momento estelar en el camino evolutivo de los músculos llegó poco después, hace 1.200-1.000 millones de años. En ese período las fibras musculares alcanzaron una ordenación muy eficaz que denominamos *túnica muscular*. Fibras musculares anulares y longitudinales forman un tubo que se puede dilatar y contraer. En el caso de las fibras que siguen un curso diagonal, también son posibles las rotaciones. Mediante las correspondientes instrucciones coordinadas un tubo de este tipo puede desplazarse al estirar el extremo anterior y hacer avanzar después hacia delante, como si fuera una onda, un anillo comprimido. La totalidad de los gusanos se desplazan de este modo. Su estructura básica es la de un tubo muscular de este tipo, en cuyo interior discurre el tubo digestivo, que tiene la boca en el extremo anterior y en cuyos alrededores hay órganos sensoriales que señalan la presencia de alimento, o sea, la dirección en la que debe moverse el tubo para encontrarlo. Nos guste o no, lo consideremos o no un atentado contra la dignidad del ser humano, el hecho es que éste era el aspecto que tenían nuestros antepasados más primitivos y que así es como se desplazaban. De todas maneras, al parecer no fue durante mucho tiempo. Mientras que el camino evolutivo hasta los crustáceos y los insectos está lleno de numerosas formas

intermedias, cuyos descendientes han llegado hasta nuestros días, el antecesor vermiforme de los vertebrados pronto optó por nadar libremente en el agua y no ha dejado ningún representante de los pasos intermedios recorridos. En la lucha competitiva contra organismos nadadores mejor dotados, los primitivos antepasados se extinguieron. El modo de vida nadador requería otra disposición más idónea de las fibras musculares y otra coordinación de los impulsos nerviosos. En el agua los movimientos serpenteantes son más eficaces para desplazarse hacia delante cuando actúan grupos de músculos opuestos complementarios. En este caso resulta muy ventajosa una varilla de apoyo a la que puedan insertarse los grupos de músculos. El anfioxo nos muestra en la actualidad la primera fase de la aparición de un cordón de esta clase, constituido por células de sostén, alrededor del cual se desarrolló después el eje de apoyo formado por vértebras de todos los vertebrados. En los tiburones estas vértebras son cartilaginosas, mientras que en los anfibios y en los teleósteos se han osificado. De esta manera, el tubo musculoso fue sustituido en esta línea evolutiva por otra disposición muscular: cordones de acción complementaria que asumen la función del desplazamiento. Sin embargo, en el interior del cuerpo el tipo estructural del primitivo tubo siguió dando buenos resultados. En el tubo digestivo de la mayoría de los gusanos el alimento ingerido avanza gracias a contracciones ondulares, movimientos peristálticos. Esta construcción no se ha modificado en lo más mínimo hasta los mamíferos, incluyéndonos nosotros. También los vasos sanguíneos primitivos movían la sangre que contenían exclusivamente de este modo, y nuestro estómago o nuestro corazón desplazan su contenido a través de movimientos *peristálticos* análogos. Los conductos secretores de numerosas glándulas, los canales que conducen la orina, los que expulsan los huevos o el útero que saca al exterior del cuerpo materno la cría recién nacida, funcionan por el mismo principio que este tubo musculoso primitivo, es decir, con ayuda de una combinación de cordones musculares dispuestos anular y longitudinalmente, o incluso en diagonal. A

través de los nervios, llegan a estos músculos órdenes coordinadas, de modo que las ondas de contracción siguen a lo largo del tubo.

Por lo tanto, el siguiente momento estelar en la evolución de los músculos fue su unión a un esqueleto interno de sostén, primero con la notocorda y después con los cartílagos y los huesos. El anfioxo nos muestra casi con absoluta precisión el momento de este cuarto progreso evolutivo, acaecido hace 800-600 millones de años. El notocordio es un elemento rígido que todavía no es cartilaginoso, y a él le sigue la formación de una columna vertebral cartilaginosa u ósea. En los peces, los anfibios, los reptiles, los mamíferos y las aves, esta varilla articulada se convirtió en el órgano auxiliar central del desplazamiento, añadiéndosele después las extremidades. Al principio fueron aletas, después las patas y los brazos y piernas. Las partes de apoyo del esqueleto comenzaron separadas de la columna vertebral, incorporándose más tarde elementos de unión: las cinturas escapular y pélvica. Esta última establece una unión firme entre las patas traseras y la columna. Al desplazarse sobre tierra firme, deben elevar el cuerpo del suelo y desplazarlo hacia delante. Los huesos de la cintura escapular, por el contrario, no van unidos en todos los vertebrados terrestres a! eje central de apoyo sino que lo hacen a través de músculos, tendones y huesos, de una manera indirecta. En la carrera y el salto resulta más conveniente una unión elástica con las patas anteriores. La clavícula sirve de elemento de apoyo; entre los felinos, que abaten su presa con un salto, ha experimentado una regresión y ha sido sustituida por una banda tendinosa.

Entre los músculos y los huesos se establece una alianza similar a la que hay entre los osteoblastos y los vasos sanguíneos. Para el desplazamiento, sobre todo en tierra firme, hacían falta extremidades que, sin embargo, debían ser accionadas por músculos. Sin estos elementos impulsores la estructura ósea carecería más o menos de sentido, e incluso, aunque se produjera por mutaciones, no aportaría ninguna ventaja a la especie afectada, por lo que no podría continuar su desarrollo. Considerar esto es importante, si se tiene en cuenta que la anagénesis

de los seres vivientes ha ido siempre acoplada a modificaciones en el material genético. En la formación de las extremidades eran importantes, y debían acoplarse, no menos de cuatro líneas evolutivas distintas; la formación de los huesos iba pareja al correspondiente desarrollo de los vasos sanguíneos, pero otro tanto sucedía con respecto a los músculos que los movían, necesitándose, además, nervios y mecanismos de órdenes. En cada uno de estos niveles tuvieron que producirse variaciones en el material genético y llegarse a combinaciones adecuadas con el fin de que el antepasado de nuestra serie de los mamíferos tuviera posibilidades de sobrevivir y de evolucionar. Dónde y cómo deben insertarse los huesos en los músculos viene determinado por el movimiento a realizar. El avance de un flagelado requiere ya algo más que la simple contracción de unas fibrillas. Deben actuar oponiéndose, actuar como antagonistas, dilatándose unas mientras que otras se contraen. Sólo de esta manera puede producirse el movimiento de progresión del cuerpo mediante el flagelo. Con nuestras extremidades sucede otro tanto. Para que una pierna pueda avanzar o retroceder, los haces musculares de lados opuestos del hueso debe ejercer una tracción (tabla 15, fig. 2). Unos deben actuar de manera que la contracción desplace la pierna hacia delante, mientras que otros deben hacerlo de tal suerte que tiren de ella hacia atrás. Si giramos un brazo, por ejemplo alrededor del hombro, o lo elevamos y descendemos, todo este juego se lo debemos a la colaboración de numerosos *músculos antagonistas*, que se consigue gracias a sus acciones contrapuestas. Precisamente aquí se pone especialmente de relieve la notable importancia de la sexualidad, de la fusión de materiales genéticos diferentes y de la aparición de nuevas combinaciones de genes. Si todos los avances hubieran tenido que esperar a una mutación del paso que les precedía, nunca habría sido posible esta evolución común, ya que a los músculos, los vasos sanguíneos, los nervios y los huesos les corresponden secciones totalmente diferentes dentro del material genético (en el cromosoma). Gracias a la constante recombinación de las variaciones dentro del acervo genético de la especie, las posibilidades de esa colaboración

eran mucho mayores. Los músculos dependían de los huesos y éstos de aquéllos, y ambos, de los vasos sanguíneos y de los nervios, de los mecanismos de coordinación que se forman en las células ganglionares, es decir, para conseguir un movimiento coordinado innato o «coordinación hereditaria». Por consiguiente, aunque cada uno de los pasos individuales se diera al azar, lo que en conjunto se desarrolló no venía determinado en absoluto por el azar sino por la necesidad. La obtención de energía a expensas de otros hizo necesario el movimiento de desplazamiento y éste dictó a continuación el curso posterior de la evolución. Un esqueleto interno fija al detalle el curso que han de seguir los músculos para moverlo, y qué otras estructuras son necesarias para ese movimiento de avance.

También los polifacéticos fibroblastos tomaron parte en este desarrollo, entrando en acción. En primer lugar se produjo la unión de los músculos a los huesos, a los que se insertaron mediante las ya citadas *tonofibrillas,* que en el cuerpo de los animales pluricelulares unen las células vecinas. Sin embargo, el músculo no suele adosarse de modo inmediato al hueso sino que lo hace a través de una especie de cordón. Éstos, los *tendones,* los forma el tejido conjuntivo mediante fibras de colágeno de gran resistencia. De este modo el tejido conjuntivo no sólo mantiene agrupadas las fibras musculares, sino que en sus extremos forma también una conexión con el hueso, de longitud variable. Si el cuerpo humano, como el de los restantes animales, muestra cada vez nuevos detalles de una sorprendente eficacia, esta impresión se acrecienta si se le contempla como lo que es: una colonia celular que, mediante una progresiva división del trabajo, llegó a funciones cada vez más perfeccionadas y a una mayor capacidad de propagar el proceso de la vida. En la rodilla y el codo los músculos deben doblarse en la articulación para fijarse al hueso siguiente, a fin de accionar los movimientos del antebrazo o de la pierna. Fibroblastos dispuestos con una perfección suma, diferenciados en tendones, hacen esto en colaboración con una sección del hueso que les sirve de ayuda.

En la línea evolutiva de los *protóstomos* que condujo a los anélidos, los crustáceos, los insectos y los arácnidos, los músculos desarrollados por el mismo principio tuvieron que adaptarse a las peculiaridades de un esqueleto externo (tabla 15, fig. 1). En este caso, la posterior evolución va ligada de modo inmediato a la estructura del tubo muscular primigenio, designándose su aparición como el tercer momento estelar en la vía evolutiva de los músculos. En los gusanos formó, además de su función como órgano del desplazamiento, un «corsé» protector situado debajo de la piel y que engloba al tubo digestivo y la cavidad general del cuerpo. En los artrópodos se depositó encima una coraza dura de quitina, adquiriendo una mejor configuración en los crustáceos y los insectos, con extremidades dotadas de articulaciones cada vez más perfectas como en la armadura de un caballero medieval. En el curso de esta evolución, el tubo musculoso inicial se redujo a cordones que realizaban con mayor eficacia las tareas encomendadas. También en este caso, como en el de los vertebrados, se produjeron complejas disposiciones de *músculos antagonistas*. Sin embargo, aquí los músculos no discurren por el exterior de los huesos sino que se encuentran en el interior de tubos articulados. De esta manera, el cuerpo del animal se mueve, a través de los correspondientes movimientos coordinados, en una u otra dirección, tras la presa, huyendo del enemigo, durante el proceso sexual con su pareja, etc. Esto sucede tanto en el escarabajo como en el caracol, en un cangrejo y un tiburón o una jirafa. Además, en todos los animales superiores, incluidos nosotros, existen también músculos activos que no están unidos al esqueleto interno o externo. Ya hemos hablado de los numerosos que existen en nuestro cuerpo, lo mismo que de las fibras que erizan el pelo de los restantes mamíferos y que en nosotros perdieron su función. Otros músculos aislados mueven la pupila del ojo, accionan con virtuosismo nuestra lengua y nuestros labios al hablar, provocan los sutiles cambios de expresión de la piel de nuestro rostro: son los numerosos movimientos señalizadores de nuestra mímica que indican al congénere actitud amistosa o enfado, simpatía o antipatía, atención, rechazo,

desilusión, sorpresa, susto y muchas cosas más. En este caso se desarrollaron movimientos musculares innatos de acuerdo con los mecanismos innatos del reconocimiento, es decir, la correcta interpretación de los movimientos expresivos, de las señales. En el rostro desprovisto de pelo del ser humano las expresiones mímicas y la correcta interpretación de su significado tienen especial importancia. Los órganos del movimiento, los músculos, asumieron aquí lo mismo que en la laringe, la boca, la lengua, los labios y las manos, la función adicional de transmisión de la información. A partir de órganos auxiliares para la captura de la presa y la defensa contra los enemigos, surgieron numerosos órganos auxiliares de la comprensión, es decir, de la transferencia de la información, del cerebro.

Con estos cuatro momentos estelares (la aparición de las primeras fibrillas formadas por moléculas contráctiles de proteína, la primera célula muscular, el tubo musculoso-cutáneo o túnica muscular y los músculos que accionan nuestro esqueleto óseo) se ha alcanzado la cumbre de esta sucesión evolutiva, según se cree convencionalmente. Se hace así justicia a la imagen que el hombre tiene de su propio cuerpo y del de los restantes seres vivientes, pero no a la verdadera evolución, pues ésta continuó un paso más: un momento estelar acaecido hace 2,5-1,5 millones de años, puesto que no sólo a través de la propia contracción muscular se pueden ejecutar movimientos, sino también haciendo que movimientos de otros seres sirvan de motor impulsor.

TABLA 17. Aprovechamiento directo de fuerzas y funciones ajenas

Figuras: **1** araña con hilo volador, **2** flores que transforman a insectos (abejas) en órganos de transporte de la plantas, **3** el ser humano que utiliza la fuerza de los animales con ayuda de la domesticación, la fuerza del viento con ayuda de un molino y el trabajo de otros hombres con ayuda del dinero.

Para toda actividad la «energía libre» (la que puede producir trabajo) es un requisito imprescindible. Las plantas la consiguen mediante la *fotosíntesis a* partir de los rayos solares. Los animales consumiendo *materia orgánica*, a la que extraen, al digerirla, la energía de enlace contenida en sus

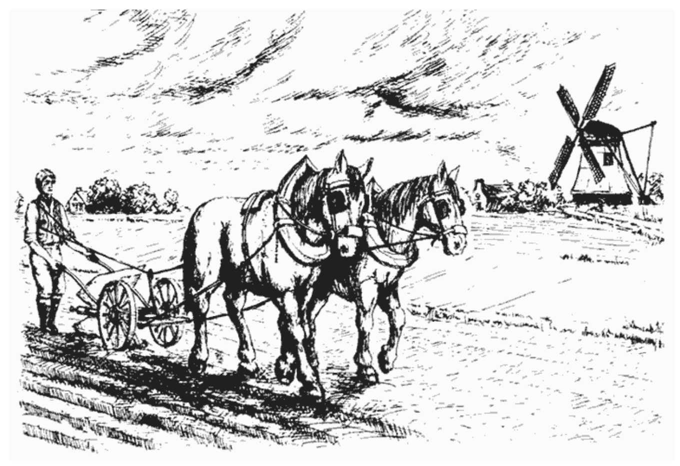
moléculas (págs. 107-108). Existe también otra posibilidad de aumentar la propia potencia: consiste en utilizar en provecho propio las fuerzas ajenas, con lo cual se ahorran las propias.

La figura 1 muestra una araña que aprovecha la energía del viento. El hilo que ha fabricado no sirve para tejer una tela sino que es una herramienta funcional. Ofrece resistencia al viento, eleva a la araña en el aire y le permite así cambiar de emplazamiento «volando». La figura 2 muestra la herramienta «flor» que muchas plantas producen y a través de la cual ponen a los insectos a su servicio. Las plantas no tienen que perseguir a su fuente principal de energía, la luz solar, por lo que para estos organismos pluricelulares no existe la necesidad de disponer de patas o alas. Se quedan fijos en un sitio, lo cual conlleva, sin embargo, el problema de cómo pueden llegar los gametos masculinos hasta los femeninos de un congénere. La herramienta «flor» lo resuelve. Está estructurada de tal modo que los insectos acuden a ella, quedándose entonces adheridos a sus patas los gametos masculinos. Los insectos los llevan después hasta la flor, donde pueden encontrarse con los gametos femeninos. En este caso ya existe un «trueque». El color y el olor atraen a los insectos hasta las flores y se les recompensa por sus servicios con el néctar azucarado (rico en energía) y el polen adecuado como alimento. Ni el insecto ni la planta son conscientes de este proceso ventajoso para ambas partes; surgió por modificaciones en el material genético que en las plantas condujo a la formación de flores y en los insectos a un mecanismo innato de comportamiento. Durante el vuelo de una flor a otra, los insectos se convierten en órganos de desplazamiento de las plantas.

En el ser humano pensante y consciente del yo, esta posibilidad de aprovechar funciones y fuerzas ajenas al servicio propio y de este modo ahorrarse esfuerzos se alcanzó de manera individual e independientemente del material genético. El hombre deja que las fuerzas del entorno (animales, viento, la energía del petróleo, la energía atómica, sus congéneres, etc.) trabajen por él, creando para ello herramientas, máquinas y organizaciones adecuadas (es decir, «necesarias»). Este importante avance se lo debemos al especial desarrollo de la corteza cerebral (tabla 10). Así, gracias a nuestra técnica, superamos ampliamente en poder a los restantes seres vivos, y así surgió nuestra cultura y nuestra civilización.



1. Araña con hilo volador 2. Abeja como órgano



3. Energía ajena empleada por el hombre

Antecedentes de este desarrollo, que en el ser humano adquirió importancia real, los ha habido en gran número en la evolución de las plantas y de los animales. Los organismos pluricelulares forman prolongaciones que aumentan su superficie y con ello la resistencia al rozamiento en el agua. Con ayuda de estas prolongaciones aprovechan las fuerzas moleculares de su entorno, se ahorran o facilitan la trabajosa tarea de contrarrestar la gravedad terrestre con flagelos o cilios. Existen multitud de animales que aprovechan las corrientes de agua y que de este modo ahorran sus propios movimientos. O bien el aprovechamiento de la actividad de otros animales: en las cavidades de las esponjas viven numerosos *inquilinos.* Se fijan al interior de este sistema de tubos, dejan que el movimiento ciliar de las células que revisten estos conductos lleve hasta ellos agua cargada de sustancias nutrientes y se aprovechan sin cansarse de ese esfuerzo capturando así el alimento que hay en la corriente de agua. Más ejemplos de la utilización de los esfuerzos de otros organismos los encontramos en prácticamente todos los grupos animales, y en cantidades ilimitadas. Esta tendencia y este método se encuentran incluso entre las plantas. La hiedra y otras trepadoras se ahorran el esfuerzo de tener que ascender en busca del sol mediante sus propios tallos, aprovechando los de otras plantas por los que trepan, llevando así sus propias hojas a mayor altura que las del competidor. Entre los numerosos ejemplos que se dan en el reino de los insectos citaremos sólo uno, el de los aceiteros o corralejas *(Meloe).* Las larvas de estos insectos trepan por las hojas, donde esperan a una abeja para fijarse a sus pelos y dejarse transportar hasta la colmena, directamente hasta las celdas en las que desarrollan los huevos. Se alimentan de sustancias nutritivas que encuentran en su interior y, de este modo, disponen de unas reservas de energía que no han de molestarse en adquirir por sí mismos. Sin embargo, para ello es necesario un movimiento innato que la corraleja lleva en su comportamiento. Lo mismo sucede en cualquier otro caso de aprovechamiento del movimiento ajeno en los animales, que sólo en raras ocasiones se adquiere por aprendizaje. De este

modo, el método de ahorrar esfuerzos sólo pudo desarrollarse dentro de estrechos límites.

La situación es muy otra en el ser humano. La inteligencia de nuestra corteza cerebral de múltiples dimensiones permite aprovechar tales circunstancias de manera consciente y dirigida. La existencia del viento: el hombre fabricó molinos que le producían trabajo, construyó veleros que con la fuerza de los vientos le transportaban por la superficie del agua. Mediante turbinas es capaz de aprovechar la fuerza del agua que cae. En la electricidad descubrió un transmisor de energía muy práctico, una forma de energía que puede transformarse en otra: la fuerza hidráulica en rendimiento mecánico, en iluminación, en calefacción. Se añade a esto el aprovechamiento de la energía almacenada en el carbón, el petróleo y el átomo. Y sobre todo: el aprovechamiento de sus congéneres. A través de nuestra inteligencia que indaga en las interrelaciones, el aprovechamiento de la actividad ajena se convierte en el momento central del desarrollo cultural del ser humano. A la depredación se le asocia ahora el trueque. Las funciones especializadas ajenas se utilizan ahora pagando por ellas. Por dinero trabaja un criado, un médico, un abogado, una sociedad de seguros, una fábrica de automóviles e incluso el Estado, prestando servicios que aumentan el potencial propio. Dentro de la sociedad humana organizada el ser vivo «hombre», surgido del reino animal, se puede ahorrar prácticamente todo movimiento propio, aprovechando casi todo el trabajo ajeno. A través del dinero, un elemento de trueque que de manera análoga a la electricidad transforma un movimiento en otro, una función en otra distinta, el cuerpo humano adquiere órganos muy especializados que trabajan para él, que aumentan su rendimiento, que permiten fortalecer el proceso de la vida y que incluso le ayudan a alcanzar una potenciación que puede resultar peligrosa para él mismo.

XIV. EL EJÉRCITO DE LAS GLÁNDULAS

Si cerramos los ojos y nos ponemos a meditar, se pone de manifiesto con toda claridad que el proceso se desarrolla en nuestra cabeza, y más concretamente, en su parte anterior de su zona superior, donde se encuentra nuestro cerebro o, para ser más precisos, la corteza cerebral. Una prueba de que nuestro espíritu, nuestra inteligencia y nuestra conciencia del yo son el resultado de la actividad de las células cerebrales, son los efectos de las lesiones, las enfermedades y el desarrollo deficiente del cerebro, e incluso el paulatino despliegue de la capacidad de pensar en los niños. Lo mismo que cualquier órgano lesionado, deficiente o en proceso de desarrollo es incapaz de desarrollar toda su capacidad, lo mismo sucede con el cerebro. Sin embargo, en este aspecto existe el convencimiento de que nuestro espíritu es algo separado de la materia.

El pensamiento, la razón y la conciencia se contemplaron en la filosofía como «el lado inmaterial de la realidad», algo que va más allá de lo material. Esto se consideró, y mucha gente sigue considerándolo, como parte de un espíritu universal divino, como aspecto de una razón inescrutable que une esta fuerza superior al hombre, y sólo a él. Platón designa al espíritu como «la eterna mirada sobre sí mismo de Eterno» y Aristóteles lo veía como «el pensamiento pensante en sí mismo». Paracelso escribía: «Por lo tanto, todo ser humano tiene un espíritu que reside fuera y que tiene su asiento en las estrellas superiores.» En épocas más recientes, Christian Morgenstern lo formulaba con mayor claridad: «No existen dos clases de espíritu sino solamente uno, y es el espíritu de Dios...» La idea de que el espíritu humano es algo separado de nuestro cuerpo procede en buena medida de la concepción de la identidad inmediata de nuestra inteligencia, de nuestra conciencia con esa inteligencia superior, esa conciencia universal propia del creador de todas las cosas. El ser humano sólo es capaz de comprender

con pensamientos humanos esta razón última: nuestro espíritu sería así parte integrante de este espíritu universal implantado en nuestro cuerpo. La mayoría de estas ideas están sometidas asimismo a la influencia de la creencia en una vida posterior a la muerte. La inmortalidad del alma sólo tiene importancia práctica si se conserva la individualidad. Pero esto supone el mantenimiento del espíritu más allá de la muerte, tras la desintegración de las células cerebrales.

Como ya se ha dicho, científicamente no existe posibilidad de contradecir estas creencias. Sin embargo, la investigación tampoco ha encontrado pruebas que permitan creer que nuestro pensamiento, nuestra inteligencia y nuestra conciencia del yo sea un fenómeno desligado de las células cerebrales. Por el contrario, se han descubierto otras relaciones que exigen una revisión radical de las convicciones arraigadas desde antiguo. Mientras que el hombre corriente cree desde siempre, y considera como algo natural, que su intelecto discernidor es el timonel del cuerpo, cada día son más las pruebas de que, en realidad, como sucede con todos los animales superiores, estamos sometidos a dos fuerzas rectoras diferentes. El sistema nervioso es una de ellas y su instancia consciente es el yo que percibimos. Pero al mismo tiempo, existe una segunda jerarquía directriz que tiene mucho más poder y competencias de las que nos imaginamos. Su actividad no se basa en impulsos eléctricos que se desplazan velozmente por todo el cuerpo a través de los conductos nerviosos, que emiten órdenes y envían señales de control a las centrales. Su trabajo se basa en un sistema señalizador mediante sustancias que envían órdenes a todos los rincones del cuerpo, a menor velocidad pero no por ello de manera menos eficaz, y que allí reciben avisos de control. Nuestro «yo» sabe poco de todo esto. Si nos hacemos un corte en la yema del dedo y la herida cura poco a poco, sabemos perfectamente que esto no es el resultado de nuestro espíritu, nuestra inteligencia y nuestra conciencia. Sabemos también que no podemos controlar nuestros órganos internos y que no todas las actividades del sistema nervioso llegan a nuestra conciencia.

Los propios sueños nos lo aclaran. En cualquier caso, la curación del dedo la consideramos como algo natural, lo mismo que el crecimiento del lactante hasta llegar a la edad adulta. Lo que el lego desconoce en toda su importancia y alcance es que este segundo gobierno que funciona a través de «principios activos», de señales materiales, tiene una importancia y unas capacidades inmensas y que construye según sus leyes todo el sistema nervioso central, junto con sus principales mecanismos. No obstante, si queremos ver objetivamente nuestro yo, verlo como lo que es en realidad a la luz de los resultados de la investigación científica, debemos ocuparnos más de esta segunda fuerza rectora que actúa en nosotros, y a esto es a lo que vamos a dedicarnos ahora.

Si buscamos en los textos y diccionarios modernos la voz «glándula», vemos que con ella se designan células o formas pluricelulares que secretan sustancias hacia el exterior o el interior. Ejemplo de una *glándula exocrina*, que emite hacia el exterior, es el lagrimal. Ejemplo de una *glándula endocrina*, que secreta hacia el interior, es el páncreas. Sin embargo, lo que no se incluye bajo este nombre es la glándula más poderosa, polifacética y diferenciada del cuerpo de todos los seres vivos. Si queremos saber más acerca de ella, tenemos que dirigirnos a otra palabra, la de «núcleo celular». Si el avance y el conocimiento humanos en todos los tiempos han encontrado graves obstáculos se debe sólo en parte a la tan citada «ceguera de los contemporáneos», y es consecuencia sobre todo de las trabas que se impone el propio espíritu humano. Estas son los «conceptos que han cobrado carta de naturaleza», que no sólo conducen a error al lego sino también al experto. Una vez arraigados se toman igual que la leche materna y no se consideran ya herramientas del pensamiento, que es lo que son, sino simplemente como «tarjetas de visita» de la verdad misma. El concepto de «glándula» es un ejemplo de todo esto. Se creó antes de suponer que existieron núcleos en las células, conlleva la idea de un tamaño determinado y pasa por alto las relaciones funcionales.

De hecho no existe en el cuerpo, ya sea vegetal o animal, ningún otro órgano que emita tantos principios activos a su entorno como el núcleo, debido al material genético que contiene. Como ya se ha indicado, éste consta de largas cadenas moleculares en la que se disponen, alineadas como si fueran letras, palabras y frases, las unidades químicamente activas llamadas *genes*. Estos se encuentran configurados de tal modo que toman moléculas de su entorno y las ordenan de tal manera que se originan sustancias de gran potencia. Se trata de complejas moléculas de proteína, la mayoría de las cuales actúan como *enzimas*. Se entienden por tales unas sustancias que actúan *catalíticamente*, como intermediarios, en las uniones y separaciones de moléculas sin quedar ellas incluidas en la unión o separación resultantes. En el curso del proceso se pueden modificar, pero al final del mismo vuelven a ser lo que eran al principio. Las distintas «frases» del material genético, los genes que imparten órdenes, forman así enzimas que desencadenan entonces procesos químicos en la célula. Si esto no recibe el nombre de actividad glandular se debe sobre todo a que la ciencia se ha dividido en numerosas especialidades que caminan de manera independiente hacia lo desconocido. En cada uno de estos caminos se habla un lenguaje diferente, se crean los propios conceptos y denominaciones. Esto ha conducido a grandes éxitos en las distintas disciplinas pero con esta especialización se ha perdido la visión de conjunto. Cuando uno de los representantes de una disciplina se sale de su camino para hablar con los de otras distintas, se utilizan palabras que en cada caso tienen significados completamente diferentes, y a menudo sucede también que se designan con palabras distintas cosas que son funcionalmente idénticas.

Lo mismo sucede en este caso. La bioquímica se ocupa de las estructuras moleculares en el interior de la célula, y la anatomía, la morfología comparada y la fisiología tratan sobre las células y los órganos del cuerpo. Sin embargo, si queremos conocer mejor la esencia de la segunda fuerza rectora de nuestro cuerpo que se basa en sustancias o principios activos, debemos lanzar por la borda las ideas y los convencimientos actuales y

dejarnos de preocupar por el tamaño de la estructura, y dejar que el criterio rector sea el siguiente: ¿qué hace, cuál es su función y modo de funcionamiento, cuáles son sus efectos en la gran colonia celular «hombre»?

El primer momento estelar en la evolución de las *glándulas* fue aquel instante en el que el material genético, en su función primigenia como órgano de diversificación del cuerpo, logró formar principios activos adicionales que, por un lado, dirigían otros órganos y, por el otro, controlaban su propia actividad. Debe entenderse que una cosa no es posible sin la otra. Si este material genético produjera todos sus enzimas al mismo tiempo lo único que resultaría sería un caos de funciones. Por consiguiente era necesaria una sucesión temporal estrictamente coordinada. Esto se consiguió a través de palabras, frases y páginas de la escritura química de órdenes que en un instante determinado ponían fuera de funcionamiento esta o aquella parte del material genético de las cadenas de ADN, es decir, que lo enmascaraban. Este decisivo avance debió de lograrse en época muy temprana, mucho antes de que el material genético quedara englobado en un órgano rodeado de una membrana, el núcleo de la célula, estimándose en hace 2.600-2.300 millones de años. El material genético de la célula que se dividía al hacerlo ésta, emitía con un cierto orden aquellas sustancias que dirigían la viabilidad de todo el cuerpo.

El segundo momento estelar fue este importante período de hace 2.000-1.700 millones de años cuando las células que hasta entonces vivían aisladas, los organismos unicelulares, se unieron para formar colonias. A través de mutaciones, modificaciones del material genético, se consiguió en muchas especies que los nuevos individuos formados tras la división celular no se separasen. Al principio esto era algo erróneo con efectos negativos. Pero las nuevas posibilidades que ello brindaba permitieron su persistencia. Un pequeño acúmulo celular logró en cierto momento resultar más apto, conseguir un mejor balance energético. Sin embargo, un rendimiento especial sólo era posible si estos acúmulos, estas colonias celulares, se dividían el trabajo: si las células se especializaban en funciones concretas,

con lo cual se llegaba a un organismo de orden superior, una totalidad más apta.

¿Pero cómo pudo suceder esto? Hay que tener en cuenta que estas células primitivas ya eran capaces de realizar muchas actividades. Por consiguiente, para la división del trabajo no hacía falta ninguna facultad nueva sino sólo suprimir algunas de las ya existentes. De este modo, determinadas células de la colonia se dirigieron a una actividad concreta. Aquellas sustancias mediante las cuales el propio material genético se pone trabas, los llamados *represores,* adquirieron así un nuevo significado. Los genes que los producen se llaman *genes reguladores* y todos los otros que se encargan de la síntesis de las proteínas, *genes estructurales.* Lo que debió suceder en este punto de la evolución es fácil de imaginar. Los genes reguladores extendieron su actividad a las células vecinas. De un modo u otro sus señales debieron de llegar a estas células e influir sobre su núcleo, que entonces secretaba determinadas enzimas, con lo cual la célula se especializaba en una función dada.

Si esto ha quedado claro, comprender la posterior evolución no constituye ningún problema. Mediante la división del trabajo en el interior de las colonias celulares, éstas se hicieron superiores a las células aisladas. De este modo se continuó el desarrollo evolutivo. En el interior de estos primeros organismos pluricelulares la red de órdenes que iban en todas direcciones, a través de las paredes celulares y por los líquidos hísticos en los espacios intersticiales, se hizo cada vez más compleja. Cuando se llegó a la formación del sistema circulatorio surgió la posibilidad de emitir señales mucho mejor y desde mayores distancias. Al principio eran células glandulares aisladas que emitían sus señales, sus sustancias mensajeras. En el curso de la evolución surgieron formaciones con mayor número de células, las *glándulas* en sentido estricto, que fabricaban tales sustancias, las *hormonas,* en mayor cantidad y las vertían en la sangre, a través de la cual se extendían por todo el cuerpo. Éste fue el tercer momento estelar, hace 1.000-700 millones de años. Las sustancias mensajeras desencadenaban

ahora sus efectos no sólo en los tejidos circundantes, provocando actividades celulares, sino que actuaban también sobre partes del cuerpo situadas a cualquier distancia. Hasta donde llegara la circulación sanguínea se podía actuar sobre células, tejidos y órganos mayores, o bien frenar su actividad. El gobierno central submicroscópico contenido en las células, el material genético, formó así unidades auxiliares de mayor tamaño a través de las cuales sus órdenes se reforzaron como sucede con un relé (tabla 18).

Sin embargo, esto es tan sólo una de las caras de esta evolución, de este momento estelar tan importante. La desventaja de todas las hormonas es que se desplazan con lentitud y su acción es limitada. Los músculos de una pata, un ojo o un ala, deben entrar en acción en fracciones de segundo. Dado que todos los animales dependen de la captura del alimento orgánico y esto hace necesarias las funciones sensoriales y de desplazamiento, el material genético, contenido millones de veces en cada célula, tuvo que crear un órgano auxiliar pluricelular de tipo especial mediante diferenciación celular: el sistema nervioso. A través de cables telefónicos internos que comunican los impulsos eléctricos, deben producirse las percepciones sensoriales y enviarse las órdenes a los músculos. Tuvieron que aparecer los ganglios que elaboran las indicaciones sensoriales, así como mecanismos para los movimientos hereditarios, la coordinación hereditaria. Ésta fue, originariamente, la tarea del sistema nervioso central y en modo alguno la de formación de un «yo». Una vez que este sistema de órganos había aparecido (las plantas, que no lo necesitan, no lo crearon) continuó desarrollándose, ya que es perfectamente posible que mediante mutaciones se ampliase poco a poco su capacidad funcional. A ésta se añadieron las funciones de la *memoria* y del *aprendizaje*. Las centrales que habían surgido, los ganglios, fueron reuniéndose hasta constituir un «cerebro» en el que de nuevo unas partes se orientaron hacia tareas especiales. Por último, fue posible la extracción de «conclusiones» y apareció una «conciencia del yo». Nos encontramos así ante la situación de que, junto al gobierno original propiamente dicho, apareció un

segundo que cada vez resultaba más funcional y que poco a poco se hizo con las riendas de la dirección del cuerpo. El problema es que «hay en mí dos almas», o expresado de manera más sobria a la formulación de Goethe: «en mi cuerpo hay dos gobiernos». Visto desde el material genético, el gobierno real y central del cuerpo, todo el sistema nervioso central es una unidad auxiliar que se hace cargo de una parte de las tareas de gobierno, en especial de las referentes a los movimientos corporales que no son adecuadas para las sustancias mensajeras, ya que son excesivamente lentas y actúan de manera poco selectiva.

No existe una auténtica separación entre los sistemas nervioso y hormonal. Ambos evolucionan de modo paralelo y hasta nuestros días siguen estrechamente unidos. Los nervios no conducen sus impulsos directamente a los músculos sino a través de la secreción de sustancias en las zonas de contacto, las placas terminales. En la unión de las terminaciones nerviosas, las *sinapsis,* sucede otro tanto. En último extremo, todo el sistema nervioso, al igual que todos los órganos, se construye gracias a estas sustancias mensajeras. Toda célula nerviosa debe su origen también a las sustancias inhibidoras, los represores, que desactivan determinadas partes del material genético y las orientan hacia la actividad nerviosa. Hasta el presente así es cómo tiene lugar el proceso. El sistema nervioso tiene una actuación muy limitada, si es que tiene alguna, durante la fase embrionaria, ya que durante ella él mismo se encuentra en formación.

TABLA 18. El caprichoso pilar de nuestro «yo»

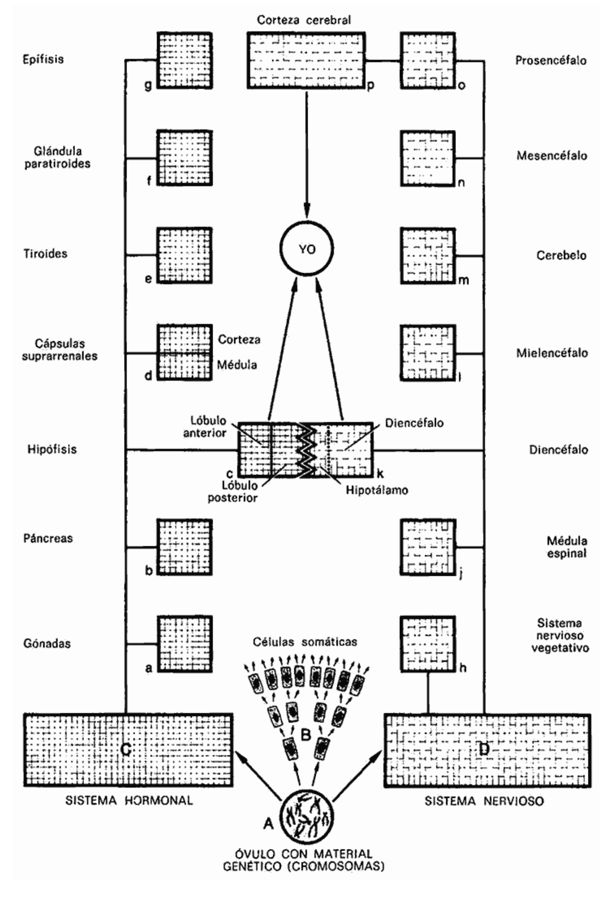
Figuras: A = óvulo humano con el material genético contenido en su interior *(genoma),* B = formación del cuerpo por segmentación y diferenciación celular, C = sistema de control mediante hormonas *(sistema hormonal)* formado dentro de la estructura corporal, D = sistema de control a través de ganglios *(sistema nervioso),* a-g = las principales glándulas hormonales *(glándulas endocrinas),* h = sistema nervioso vegetativo, j-o = médula espinal y secciones del cerebro *(sistema nervioso animal),* p = corteza cerebral muy desarrollada en el ser humano, sede de la inteligencia y de la conciencia del yo *(sistema nervioso humano).* Las flechas indican

qué centrales de control influyen en mayor medida sobre las expresiones de voluntad del «yo».

En las vivencias subjetivas del ser humano el «yo» aparece con una dimensión fija. Por otro lado, todo el mundo sabe que este «yo» se «desconecta» durante el sueño, que los estados de ánimo (por ejemplo, debido al hambre, enojo, impulso sexual, miedo o estados orgánicos tales como estrés, agotamiento, enfermedades internas, ciclo de menstruación de la mujer, edad y otros) pueden modificar el sentido de las resoluciones e influir de manera decisiva sobre la voluntad. Las relaciones descubiertas por la investigación muestran las influencias decisivas a este respecto. El rector original del cuerpo de cualquier organismo pluricelular es el material genético que se encuentra en el interior del óvulo (A). En el curso de las sucesivas divisiones celulares se transmite a todas las células somáticas (B). Dentro del marco de la formación del cuerpo por diferenciación celular, el material genético construye también estructuras de control pluricelulares: el *sistema hormonal* y *el sistema nervioso* (C, D). La técnica de mando del material genético, la emisión de sustancias activas, lo continúa, en el plano pluricelular, el sistema hormonal. Las *glándulas endocrinas* (a-g) secretan sus principios activos, las hormonas, a la circulación sanguínea donde a modo de correo interno estimulan o inhiben células, tejidos u órganos situados en otro lugar. Controlan los procesos de crecimiento, la composición química del líquido hístico, la presión sanguínea, la termorregulación, la eliminación de agua, el metabolismo, el comportamiento sexual y muchos otros procesos (pág. 310). Las centrales del sistema nervioso (h-o) controlan mediante impulsos eléctricos, que se transmiten a gran velocidad a través de los nervios, todos los procesos de movimiento que dependen de la transmisión de señales. El *sistema nervioso vegetativo* regula la actividad de los órganos internos, a menudo en colaboración con hormonas, y la médula espinal y las distintas zonas del cerebro se dedican a funciones especiales de control del cuerpo (página 130). Mediante señales de respuesta, lo mismo que en el sistema hormonal, las órdenes son controladas y corregidas de manera constante *(circuitos regulares).* En un sistema enormemente reticulado, la práctica totalidad de las centrales de ambos sistemas de control están en conexión directa o indirecta con todas las restantes.

En los vertebrados superiores el sistema nervioso se independizó parcialmente del material genético cuando una de sus centrales, el prosencéfalo (o), se especializó en la función de aprendizaje. Surgió así un segundo «gobierno» en el cuerpo: al *comportamiento innato* se le añadió en medida creciente el *comportamiento adquirido,* independiente del material genético (pág. 181). El gran desarrollo de la corteza cerebral (p y tabla 10) permite al hombre la capacidad del pensamiento inteligente y la conciencia del yo. Mediante la comprensión oral y la escritura podemos transmitir

experiencias a otros de modo que tras la muerte se conservan en la comunidad, que a partir de ellas puede obtener otras (tradición, ciencia).
El «yo» del ser humano está sometido a la influencia de prácticamente la totalidad de los centros de órdenes (a-p), pero en especial del diencéfalo (k), donde se localizan sobre todo los mecanismos de comportamiento creados por el material genético (la *motricidad innata*, la *sensibilidad innata*, los *instintos)*. Por otro lado, también depende de la hipófisis (c), la principal central de órdenes del control hormonal que está íntimamente unida a una parte del diencéfalo, el *hipotálamo*. «Dos almas hay en mí», escribió Goethe. Son muchas más.



Dejemos por un momento a un lado la aparición de esta segunda instancia de órdenes y de su integración en la primera. Detengámonos en las glándulas que emiten, como órganos auxiliares del material genético escondido en los núcleos celulares, sustancias señalizadoras y cuyas órdenes se transmiten a través de la corriente sanguínea. Dichas glándulas se desarrollan en todos los grupos animales. Se trata de «fábricas», mayores o menores, sin una localización sistemática, por lo que aparecieron en lugares muy diversos. Desde el punto de vista de su función, el lugar del cuerpo desde el cual las glándulas segregan sus sustancias es de importancia secundaria. Por este motivo aparecieron en el lugar que mejor les vino a las mutaciones casuales. Únicamente dos glándulas que segregan dichas hormonas, llamadas *glándulas endocrinas,* se encuentran situadas en puntos que un constructor consciente hubiese elegido para ello; son las células intersticiales de las *gónadas* y las secretoras de la mucosa del duodeno. La secreción hormonal de las células intersticiales está en estrecha interrelación con la formación de los gametos masculinos y femeninos, por lo que se produce muy cerca de ellos. Igualmente las células de la mucosa del duodeno, al pasar la papilla alimentaria, indican al páncreas que debe emitir su secreción. Los órganos sensoriales internos y los nervios también pueden encargarse de esta tarea, si bien la transmisión de señales a través de las hormonas dio en este caso resultados satisfactorios, por lo que se mantuvo. La posición de la epífisis, en la parte superior de la cabeza y que antiguamente se consideraba como la sede del alma, es por el contrario más bien curiosa. Sus sustancias influyen en el intercambio de hidratos de carbono y fosfatos y se le asigna una función inhibidora en el desarrollo sexual. ¿Y su posición? Se justifica por su origen, ya que apareció a partir del ojo pineal que en algunos reptiles, como por ejemplo el lución, todavía es funcional. En los mamíferos involucionó y se hizo cargo de una función completamente distinta: se transformó en la *epífisis,* es decir, en una glándula hormonal.

Todavía más curioso es el lugar y la forma de aparición de dos glándulas endocrinas muy importantes, el tiroides y las

glándulas paratiroides. Sucede lo mismo con el timo. En estas tres, el desarrollo embrionario en los vertebrados, también en el embrión humano, muestra todavía con claridad que se forman a partir de esbozos del intestino branquial y de sus *sáculos*, que involucionaron en los vertebrados terrestres al igual que los arcos branquiales. El tiroides apareció, y todavía lo hace en todos los embriones, entre las dos primeras aberturas branquiales del intestino branquial, se desplazó después hacia abajo y se situó en dos lóbulos a ambos lados de la laringe, con la que no guarda ninguna relación y en una posición que no le brinda excesiva protección. Sus principios activos, tiroxina y triyodotironina, influyen entre otras cosas sobre el crecimiento y la diferenciación corporal, produciendo su exceso la enfermedad de Basedow y la falta de su producción alternancias en el desarrollo y la aparición del bocio.

Las cuatro glándulas paratiroides, que regulan el suministro de calcio a los huesos, surgen a partir de las bolsas branquiales tercera y cuarta, se desplazan también hacia abajo, se sitúan asimismo al lado de la laringe y se incluyen en el interior del tiroides. El timo, cuyos principios activos influyen sobre la formación del sistema linfático y de los anticuerpos, surge a partir de los tejidos de las bolsas branquiales tercera y cuarta y se desplaza hasta el espacio libre que queda detrás del esternón y por delante de! corazón, formando un órgano bilobulado. Si la posición de estas tres glándulas tan importantes hubiese estado planificada, existirían para ellas en el cuerpo lugares mucho más adecuados que no exigirían desplazamiento en el curso de su aparición. Sin embargo, en este caso, el paso de la vida acuática a la terrestre dejó su huella. Evidentemente, se produce con mayor frecuencia el proceso de cambiar y diferenciar las tareas de un material ya existente por mutación que el de crear uno completamente nuevo. Para esto basta con recordar que los huesecillos de oído se formaron a partir de la articulación mandibular primitiva de los peces cartilaginosos que había involucionado, el conducto auditivo externo y el oído medio a partir del espiráculo anterior, los cartílagos de la laringe, tan impor-

tante para nuestra habla, a partir de los restos de los arcos branquiales involucionados y, finalmente, los anillos rígidos de la tráquea, a partir de otros restos. Si esto fue una intención planificada, entonces cabe asignar, al constructor que produjo intencionadamente al ser humano, una enorme dosis de capricho y paciencia, sin entrar en la cuestión de por qué nos ha construido dando el rodeo del paso por los peces y, si nos alejamos todavía más, el rodeo a través de parientes tales como las actuales estrellas de mar.

En otras dos glándulas hormonales muy importantes, las cápsulas suprarrenales y los islotes de Langerhans, la evolución no es menos curiosa. Las primeras se encuentran situadas en nosotros encima de los riñones y están formadas por dos partes que guardan poca relación entre sí y han aparecido por vías muy distintas. La médula interior segrega, en situaciones críticas, adrenalina hacia la sangre, colocando de este modo al cuerpo en una mayor disposición de combate. La actividad del corazón se acelera, aumenta la presión sanguínea y las instrucciones ordenan al hígado que aporte azúcar a la sangre, mientras que se ordena a los vasos sanguíneos que suministren azúcar de forma prioritaria a los músculos y, a éstos, que lo quemen a mayor velocidad. La *corteza* produce más de 25 sustancias diferentes que controlan, entre otras cosas, el contenido en minerales de la sangre, el equilibrio hídrico del cuerpo y las gónadas masculinas. La médula no aparece en el interior del órgano sino que surge a partir de células que forman también los ganglios del sistema nervioso simpático y que previamente, y al igual que éstos, estaban situadas entre los riñones y por delante de ellos formando una larga doble fila. En los tiburones sigue siendo así. En los vertebrados superiores se desplazan hacia abajo durante el desarrollo embrionario y se introducen en el interior de las cápsulas suprarrenales, que a su vez se forman en el peritoneo para situarse más tarde en el extremo superior de los riñones. Cuando se reúnen en el interior de esta glándula hormonal, el órgano original se transforma en la *corteza*. Las partes que no han participado en el desplazamiento

permanecen en el tejido fundamental de los riñones, en el hígado y en las proximidades de las gónadas, donde segregan asimismo hormonas. Los islotes de Langerhans, que secretan la insulina tan importante para el metabolismo del azúcar, se han instalado de manera análoga en el páncreas, que tiene una función totalmente diferente. Asimismo tampoco se ve ninguna planificación dirigida en la aparición de otra importante glándula hormonal, la hipófisis. Nace en el techo del paladar y desde allí emigra hacia arriba en dirección al cerebro. En la parte inferior de éste se une con una evaginación del diencéfalo, formándose entre ambos un lóbulo separador. De todas maneras, vierten a la sangre hormonas diferentes. Todo esto se explica fácilmente si se contempla todo el camino seguido por la evolución. Estos «talleres de producción» surgieron al principio en el lugar adecuado para una determinada función. Más tarde se ampliaron sus tareas, adquirieron nuevas funciones, se unieron a otros órganos y quedaron incluidos en ellos. También en la economía, las empresas surgidas poco a poco y que han experimentado diversos cambios en sus orientaciones presentan un aspecto totalmente distinto a aquellas otras que se crean para un fin muy determinado. Si el hombre fuera una creación nueva, el resultado de una planificación dirigida hacia él, estas circunstancias resultarían inexplicables y misteriosas. Pero si tenemos en cuenta el camino recorrido desde el organismo unicelular al pez y de éste al hombre, no lo son en absoluto.

La hipófisis se convirtió en un centro de conmutación esencial de nuestro cuerpo. No es mayor que un guisante y se divide en dos secciones, cada una de las cuales desempeña actividades directoras. El lóbulo anterior es el más alejado del sistema nervioso y dirige, quizá en su función original, los procesos de crecimiento y la formación de los gametos. Con todo esto, caen dentro de su responsabilidad las funciones más importantes de la vida: el crecimiento, la multiplicación y el perfeccionamiento. Más tarde, esta parte se hizo asimismo cargo del control de todas las glándulas endocrinas. A partir de aquí se controla, de manera directa o indirecta, la actividad del tiroides, de la glándula paratiroides, del timo, de los islotes de Langerhans

y de las cápsulas suprarrenales (médula y corteza) así como la producción de hormonas de las gónadas. El lóbulo posterior, donde las vías nerviosas del diencéfalo envían a la corriente sanguínea sustancias mensajeras, influye a través de las hormonas vasopresina y oxitocina sobre la presión sanguínea, la excitación de la musculatura lisa de la vejiga, el útero, el intestino delgado y el intestino grueso y, además, sobre la eliminación de agua y la capacidad de concentración de los riñones. Estas actividades suelen ir unidas a las de los sistemas nerviosos simpático y parasimpático de modo que se produce un doble control que crea una mayor seguridad. Los circuitos reguladores desempeñan un papel importante y prácticamente se plasman todas las combinaciones posibles: la orden y la señal de recepción a través de hormonas o señales nerviosas, ambas a la vez o cada una de un modo distinto. En la regulación del nivel de azúcar en sangre, la interacción de estos efectos adquiere especial complejidad, ya que tanto el tiroides como los islotes de Langerhans y la médula y la corteza de las cápsulas suprarrenales se encuentran sujetos a la influencia del lóbulo anterior de la hipófisis. El estudio de estas relaciones no es nada sencillo puesto que las hormonas actúan en cantidades ínfimas, por lo que resultan muy difíciles de detectar y analizar. Las acciones que parten de la hipófisis son de naturaleza muy variada. Sus hormonas (producen más que cualquier otra glándula endocrina) actúan por medio de la corriente sanguínea y a través de las membranas celulares activando genes aislados, represores, para reforzar o reducir su acción; en las paredes celulares incrementan o reducen la permeabilidad a las señales; activan o inhiben otras glándulas y, por último, actúan sobre el sistema nervioso, favoreciendo o anulando sus órdenes. Si continuamos preguntándonos si nuestro cuerpo es reflejo de un constructor consciente que persigue un objetivo, también aquí nos llevaremos un desengaño. Es característico de la mayoría de las hormonas que actúen de manera específica a la función, no a la especie. Dicho en términos vulgares esto significa que en el cuerpo de un canguro estas sustancias activas provocan los mismos efectos que en un murciélago o ser humano. Si el

hombre hubiera sido creado para un fin determinado por un ser planificador, o sea, un dios, éste creó en nosotros portadores de señales análogos a los de los animales que nos rodean, por encima de los cuales nos encontramos. El material y la forma de construcción presentan una sorprendente similitud. En la moderna medicina esto ha supuesto la ventaja de que los principios activos que se administran con fines curativos al cuerpo humano no necesariamente han de obtenerse de éste, sino que pueden producirse en animales, como por ejemplo las vacas.

Dejemos ahora estas glándulas tan importantes para la regulación interna del cuerpo y dediquémonos a otras que también actúan en el interior y que son asimismo órganos auxiliares del gobierno central, es decir, del material genético. Como ya se ha dicho, los organismos pluricelulares pudieron aparecer porque el material genético actúa por fuera de la célula e influye sobre el material genético de otras, que son integrantes de la colonia cada vez mayor, bloqueando partes del código y activando otras. Una actividad más del material genético en el interior de la célula consiste en que actúa sobre la formación de las enzimas que disgregan las sustancias nutritivas, que destruyen su estructura molecular y liberan la energía que contienen. Los elementos materiales resultantes de esta disgregación se utilizan más tarde como elementos de construcción para la sustancia del propio cuerpo. Hoy se conoce muy bien cómo se produce esta «digestión» intracelular. Numerosas enzimas trabajan codo a codo, como en la línea continua de montaje de una fábrica. Para la disgregación de los tres elementos nutritivos principales, las grasas, las proteínas y los hidratos de carbono, existen en el interior de la célula especialistas cada uno de los cuales realiza determinadas funciones hasta que finaliza el proceso de degradación, que es la base para que puedan actuar las células y puedan producirse otras nuevas. Resulta interesante el hecho de que las tres «líneas continuas de producción» finalizan en una «línea de montaje» común, llamada *ciclo de Krebs.* En numerosos pasos intermedios (ácido oxalacético, ácido cítrico, ácido isocítrico, ácido oxalsuccínico, ácido

α-cetoglutámico, ácido succínico, ácido fumárico y ácido málico) se extrae del alimento la energía que contiene. El proceso es similar en el tubo digestivo, con la única diferencia que aquí las enzimas no son sintetizadas por el material genético sino por células glandulares especializadas o por unidades funcionales de mayor rango, las glándulas pluricelulares.

Esta actividad puede entenderse de modo correcto sólo si se la contempla en relación inmediata con los procesos que discurren en el interior de la célula. También aquí el material genético se hace con órganos auxiliares pluricelulares que amplían sus posibilidades, para realizar funciones sin las cuales no podría existir el organismo pluricelular. Antes de que el alimento capturado de un modo u otro por la colonia de células pueda llegar al interior de éstas a través de su membrana, debe quedar desmenuzado y degradado hasta el punto de ser hidrosoluble. De esta actividad se encargan las glándulas digestivas que trabajan con enzimas, lo mismo que sucederá más tarde en la degradación definitiva en el interior de la célula. En la boca, donde se trocea el alimento y se le mastica, comienzan a actuar las primeras glándulas digestivas. Con la saliva, que convierte al mismo tiempo el alimento en una papilla escurridiza, se vierten las primeras enzimas: principalmente amilasa, además de maltasa, lipasa, proteinasa y peptidasa. En el estómago, además del ácido clorhídrico que mata todas las bacterias actuando como desinfectante, se incorporan pepsina, catepsina y quimosina. En el duodeno actúa la bilis procedente del hígado, que disgrega las grasas en pequeñas gotitas y las convierte en una emulsión fina; a continuación, actúan sobre las sustancias orgánicas las enzimas del páncreas: tripsina, erepsina (exopeptidasas y dipeptidasas), maltasa, lactasa, lipasa y otras amilasas. Las glándulas del intestino delgado producen erepsina, invertasa, lactasa, nucleasa y otras maltasas y lipasas además de enteroquinasa, que activa la tripsina del páncreas. AI final del tubo digestivo, en el ciego y el intestino grueso, actúan bacterias sobre todo aquello que no ha pasado a la sangre. Muchas de ellas producen también vitaminas que el cuerpo aprovecha.

Del páncreas ya hemos dicho que en su interior se instalaron los islotes de Langerhans sin que influyeran en su secreción digestiva: un huésped con habitaciones separadas y salida por otra puerta. Distinto a lo sucedido con el hígado, que en los vertebrados se convirtió en una central importante. Lo mismo que el sistema circulatorio fue asumiendo funciones adicionales a la inicial, la de distribución del alimento, otro tanto ocurrió en este caso. Además de la importante secreción de bilis, se añadió el control de todas las sustancias nutritivas que absorbe el intestino, salvo las grasas que desde éste pasan a la corriente circulatoria a través del sistema linfático. Todo lo demás lo tiene que analizar, revisar y elaborar el hígado con otras enzimas más. Las sustancias perjudiciales se eliminan junto con la bilis. Primera función adicional: se neutralizan aquí los residuos metabólicos que la sangre trae de las células y se les convierte en ácido úrico que más tarde, de nuevo a través de la sangre, pasa a los riñones para su eliminación. Segunda función adicional: aquí se almacena energía en una jaula química llamada glucógeno, para en caso de necesidad cederla con rapidez a los músculos. Tercera función adicional: desintegración de los glóbulos rojos muertos, cuyo hierro es llevado hasta la médula ósea a través de la sangre para la formación de otros nuevos. Cuarta función adicional: aquí se sintetizan sustancias necesarias para la coagulación de la sangre. Quinta función adicional: el hígado es el depósito de sangre del cuerpo, capaz de almacenar hasta el 20 por ciento del total de la existencia. Lo sorprendente en este caso es que no sean células distintas las que realizan todas estas funciones sino siempre las mismas. Sin embargo, han pasado a trabajar en una especie de turnos. Fabrican bilis o se dedican a las otras funciones. La formación de este órgano tan polifacético y decisivo, el hígado, puede muy bien considerarse el cuarto momento estelar en la evolución de las numerosas glándulas. Dicho momento se remonta a hace 550-450 millones de años.

El final de este capítulo no aporta nada esencialmente nuevo. Además de las glándulas que transmiten señales, las que secretan principios activos, existen otras que no amplían de

modo inmediato el potencial del material genético, que no son órganos auxiliares en la formación de las enzimas y de las sustancias mensajeras. Son sobre todo aquellas que consiguen actuar sobre el entorno de una manera mancomunada. En las arañas son las glándulas de la seda, en las abejas las de la cera. Muchos peces poseen glándulas productoras de gas con cuya ayuda pueden regular su flotabilidad, la mofeta tiene glándulas repugnatorias que le sirven para la defensa, muchas plantas y animales tienen glándulas odoríferas que para un fin u otro atraen a sus congéneres o a otros animales. Las glándulas venenosas están asimismo muy difundidas, lo mismo que las glándulas mucosas. Numerosos mamíferos han formado glándulas sudoríparas que alcanzaron especial importancia en nuestros antepasados, los simios cazadores de la estepa.

De todos modos, hemos de destacar una de estas glándulas cutáneas cuya aparición, hace 230-200 millones de años, debe considerarse el quinto momento estelar en la evolución de las glándulas: se trata de las glándulas mamarias de la mujer. Somos mamíferos y esto supone algo más que una mera categoría en la clasificación zoológica. No habríamos llegado nunca a la condición de seres humanos si no hubiéramos podido desarrollar nuestra capacidad de aprendizaje. Sin embargo, un requisito para ella es que las crías no lleguen «completas» al mundo, o sea con todos sus mecanismos de comportamiento, sino inmaduras y necesitadas de la protección de sus padres. Pero entre otras cosas, para ello era necesario que la madre alimentara a su hijo después del nacimiento con sustancias de su propio cuerpo: sustancias disueltas en agua que, a través de la sangre, pueden penetrar directamente en el interior de las células a través de sus membranas, es decir, la *leche*. La mama se convirtió, más allá de su función nutriente, en un carácter sexual secundario. Su visión y su tacto tienen un efecto desencadenante de la disposición sexual del hombre, activando así las glándulas endocrinas. La subida de la leche viene controlada por la hipófisis. Por el contrario, el efecto estimulante del pecho juvenil perfectamente formado actúa a través de mecanismos del sistema nervioso central, o sea, a través de otros mecanismos de

nuestro cuerpo, a través del segundo gobierno del que se origina nuestro yo.

XV. ÓRGANOS DEL MANTENIMIENTO

Una de las ideas más curiosas de la ciencia es que, aunque a nivel individual la muerte es nuestro enemigo, no lo es en absoluto de la vida. Más aún: si las plantas y los animales vivieran diez veces más, ya no existiríamos, pues la anagénesis de los seres vivos habría tardado diez veces más en completarse. Entre la duración de la vida y la ventaja para el desarrollo general existe una relación perfectamente calculable. Los organismos necesitan un determinado tiempo para lograr prosperar y atesorar las cantidades necesarias de energía y materia para la reproducción. Sin embargo, si viven demasiado, constituyen un obstáculo en el camino del progreso, puesto que sólo a través de variaciones en el patrimonio hereditario puede desarrollarse algo nuevo, que no logrará establecerse hasta no encontrar un «puesto» vacío. Lo mismo que en la economía una empresa asentada con excesiva firmeza a menudo impide el progreso, lo mismo ha sucedido desde siempre con las plantas y los animales. El provocador aforismo de Heráclito de que la guerra es el padre de todas las cosas, tiene una cierta justificación, por cuanto que incluso la extinción de especies enteras permitió acelerar el proceso de la selección de lo más apto. En el ser humano, cuya experiencia y capacidad intelectual aumentan con la edad, una duración media más larga de la vida no constituye ninguna desventaja para la evolución. Por el contrario, por sus obras (pongamos por caso fábricas) contempladas universalmente la aniquilación puede, en efecto, fomentar el avance, como ha demostrado, por ejemplo, el desarrollo económico después de la última Guerra Mundial.

En este capítulo nos dedicaremos a la cuestión que se opone a la muerte: la seguridad, la protección, la conservación de los órganos, el orden corporal. Mirando la totalidad de los seres vivos que se han desarrollado desde hace 4.000 millones de años, cada uno de ellos representa una determinada disposición

de partes que se continúa en el devenir general. El despliegue de la vida es como una corriente que se propaga mediante determinadas estructuras materiales, que obtiene del entorno energía y materia, que las transforma en estructura de su propio cuerpo, crecen, se multiplican y producen nuevas estructuras. Si resultan adecuadas para continuar el proceso que denominamos corriente vital, se originan numerosos individuos de la misma «especie». Si no son aptas, la corriente de la vida cesa en este punto. Como ya hemos dicho, los individuos de una especie no deben vivir demasiado. Esto frena el progreso, causa desventajas a otras ramas de esta evolución. Por otro lado, en todo individuo vivo, además de sus órganos de obtención de materia y energía y reproductores, son necesarios muchos otros cuya única función es mantener la estructura corporal, conservar sus partes, asegurar, prevenir contra las perturbaciones y, en caso necesario, renovar. Estos órganos que existen en todos los seres vivos, y naturalmente también en nuestro cuerpo, tienen aspectos diferentes pero debe contemplárseles en conjunto. La función que cumplen les emparenta. Esa función común es la de conservar el ser vivo, su orden y su existencia. ¿Pero cómo discurre el camino evolutivo para estos «dispositivos», dónde están aquí los «momentos estelares» para la evolución del ser humano?

Para la conservación del individuo, vegetal o animal, tienen gran importancia sobre todo las reservas, y en particular las de energía, pues sin ésta no hay movimiento, se extinguen todos los procesos. Evidentemente también son importantes las reservas de sustancias, como por ejemplo las de agua en las regiones áridas. Sin embargo, en este caso tanto los organismos unicelulares como los pluricelulares pueden «apretarse más el cinturón» en caso de necesidad. Si un órgano se altera, se pierde integridad, aunque se puede conservar el orden general por transformación de las partes existentes. La energía, sin embargo, es imprescindible. Si sus fuentes acaban agotándose por completo, las ruedecillas de la vida se detienen de manera definitiva y el orden corporal pierde su valor vital. Ya no es capaz

de continuar la corriente de vida a través de su propia estructura individual.

No obstante, hemos de seguir todavía un poco dentro del campo teórico. En los seres vivos no es posible separar de manera estricta materia y energía, pues el material del que están compuestos contiene ambas. La estructura corporal está formada principalmente de moléculas de proteína: constan de átomos, o sea materia, y las fuerzas que los mantienen unidos. Si comemos un trozo de carne, ingerimos un gran número de esas moléculas proteicas, o sea, tanto la materia como la energía que contienen. La estructura corporal de las plantas consta asimismo de proteínas, aunque hay otro tipo molecular que desempeña también un papel importante: los hidratos de carbono. Si comemos plantas la situación no ha variado. También los hidratos de carbono están formados por átomos, es decir, materia y las fuerzas que los mantienen unidos. Por consiguiente, toda molécula de proteína y de hidrato de carbono es una reserva de materia y de energía. Si se «desmenuzan» esas moléculas, se las escinde en sus partes, tanto una como otra se liberan. Por esa razón la estructura de cualquier planta o de cualquier animal representa la reserva más primitiva. Si hay necesidad, se las puede obtener por desintegración de la propia estructura. Sin embargo, ésta no es la solución ideal. En primer lugar, porque las células y los tejidos sólo hasta un cierto punto son capaces de «autodigerirse» y mantener el orden general a pesar de la destrucción de la estructura. Segundo, porque cuando la situación vital mejora, esta estructura debe ser reconstruida y durante estas idas y venidas se producen grandes pérdidas de energía. En la economía la situación no es distinta. Si para evitar la suspensión de pagos se venden algunas máquinas que más tarde hay que volver a comprar, las pérdidas son considerables. Desde luego, es mayor la pérdida que en el caso de la formación de reservas para tiempos difíciles, por ejemplo, en forma de *stocks*. Por este motivo, las plantas y los animales sólo en casos extremos echan mano de la destrucción de su propia estructura. Lo que hacen con mayor frecuencia es crear re-

servas cuya constitución y destrucción exige pérdidas pequeñas. Sus reservas están formadas también por moléculas, por aquellas cuya formación y destrucción les resulta económicamente favorables, es decir, les causa pérdidas energéticas reducidas. Las más conocidas de estas moléculas son aquellas que denominamos *azúcares* y *grasas*. Se trata de depósitos de energía y de materia. El azúcar tiene la ventaja de que puede disponerse de su energía con rapidez. La destrucción de las moléculas de grasa necesita más tiempo, si bien éstas contienen más energía.

Todo animal o planta, es decir, toda célula, dispone de otro tipo de «cuenta». Es una cuenta corriente de la que puede hacerse uso en cualquier momento. En este caso se trata también de un tipo de moléculas cuyo nombre abreviado es ATP. Como ya hemos indicado, se parece a una batería eléctrica que puede cargarse y descargarse casi sin pérdidas (tabla 20, fig. 5). En toda célula hay miles de dichas baterías, situadas en su protoplasma y que se cargan y descargan hasta 2.000-3.000 veces al día. Al igual que el dinero, presentan la ventaja de que gracias a ellas una función puede transformarse en otra completamente distinta. Toda la actividad que se produce dentro de la célula se realiza gracias a su mediación. La energía recibida que debe quedar rápidamente disponible, se almacena en dichas baterías. Además, todas las actividades celulares son accionadas por ellas. Únicamente cuando están descargadas se acude entonces a las reservas de azúcar o de grasa con el objetivo de volverlas a cargar para que el servicio constante no se detenga.

Todos los animales y plantas son colonias celulares por cuanto el inmenso número de células que las componen fabrican sus propias baterías de ATP. No se ha producido nunca la aparición de órganos pluricelulares especializados en la formación de ATP y en la transmisión de energía. Tampoco en los seres humanos. Por el contrario, los azúcares y las grasas se almacenan tanto en las células como en los órganos pluricelulares. En el caso de los organismos unicelulares animales y de los metazoos inferiores, se trata del *glucógeno* parecido al *al-*

midón vegetal, que junto al ATP se emplea como almacén universal de energía. En los animales pluricelulares, y también en el ser humano, el glucógeno se almacena sobre todo en el hígado y en los músculos. Debido a su estructura molecular, todos los azúcares se incluyen en el gran grupo de los hidratos de carbono. En las plantas fue otro hidrato de carbono el que se convirtió en almacén principal de energía y materia, el almidón, que se acumula en los tubérculos, las raíces, los frutos y las semillas. De acuerdo con las necesidades de la planta, se le puede transformar fácilmente en azúcar.

Consideraremos como momento estelar en la evolución de los depósitos de reserva la aparición de las moléculas llamadas grasas, que demostraron ser muy importantes en la evolución general y la del hombre. Su primera aparición, es decir, el instante en el que se produjo el primer momento estelar en los órganos de mantenimiento, debió producirse hace 3.500-2.500 millones de años. Una prueba de ello es que encontramos gotas de grasa en el protoplasma de los organismos unicelulares. Debido a que la grasa es más ligera que el agua, estas gotas desempeñan el papel de órganos de flotación. Su formación se convirtió en una manera de evitar el hundimiento en las fosas abisales, carentes de luz. Esto fue muy importante para las plantas unicelulares así como para los animales planctónicos, cuyo alimento son dichas plantas. Por ello, la segunda propiedad de las grasas, la de almacenar energía de forma muy concentrada, debió de asumir su papel en segundo lugar. En nuestros antepasados vertebrados, y en nosotros mismos, la grasa se almacena en distintas partes del cuerpo: el hígado y los depósitos grasos. En la anguila, la grasa puede superar el 60 por ciento de la materia seca. En los animales homeotermos adquirió importancia una tercera característica: conduce mal el calor y es adecuada como capa aislante. En el caso de las ballenas, animales de sangre caliente que regresaron al mar, la capa de sebo está muy desarrollada en el tejido conjuntivo subcutáneo. En el cachalote alcanza un espesor de 35 centímetros. Además, el efecto de empuje les viene naturalmente muy bien a estos animales. Una cuarta propiedad de la grasa es su elasticidad. Nuestros

riñones y vísceras están sujetos de manera elástica mediante depósitos grasos, con lo que quedan protegidos contra los golpes. Formamos cojines de grasa en las nalgas, en la base del pie y en la palma de la mano, pero también detrás del ojo, lo que permite que el globo ocular gire sin fricción. En la mujer los cojines de grasa constituyen la característica sexual del pecho prominente así como las caderas y los muslos redondeados que deben considerarse en primer término como reservas de energía y materia para la época del embarazo. Por esta razón es muy difícil eliminarlas mediante dietas.

En el ser humano, la formación de grasa se convirtió en un problema debido a mecanismos innatos. Dado que el cuerpo humano no está construido con un objetivo determinado, no se encuentra preparado para responder a la tendencia al placer del hombre. Es por esto por lo que la cultura gastronómica tiene para nosotros efectos secundarios incómodos. El cuerpo crea sin descanso reservas que ya no son el objetivo de nuestro proceso alimenticio y que nadie desea. De este modo la dieta y el adelgazamiento se han convertido en un problema muy engorroso para muchas personas.

Una segunda condición para el mantenimiento de la estructura y el orden corporales, junto a la creación de reservas, es la eliminación de los residuos producidos en el interior del cuerpo. La vida es, como ya se dijo, un proceso. La corriente vital se continúa mediante estructuras materiales adecuadas capaces de recibir energía y materia y transformarlas en otras sustancias vivas. Estos procesos son transformaciones moleculares en cuyo transcurso se producen desechos de manera automática. Se habla de *metabolismo* y de *metabolitos,* o residuos metabólicos, que participan en él. Durante la destrucción de los hidratos de carbono y de las grasas, a veces puede utilizarse todo durante la destrucción de las moléculas, en cuyo caso queda al final, como desecho, agua y dióxido de carbono, dos materias que no son especialmente complicadas. El agua es condición indispensable para la vida y constituyente fundamental de las células, por lo que vuelve a utilizarse. El dióxido de carbono puede eliminarse a través de la pared corporal en

los organismos pequeños, y en los grandes a través del mismo camino por el que se obtiene el oxígeno, es decir, las branquias o los pulmones. Sin embargo, éste es el caso más favorable. Con frecuencia quedan residuos tóxicos para las células que deben eliminarse. Durante el proceso de destrucción de las proteínas, esto sucede de manera muy especial. Queda constantemente nitrógeno, en forma de amoníaco, así como azufre, fósforo y otros elementos en combinaciones dañinas para el cuerpo. Las células transforman estos elementos, de nuevo mediante una manipulación química, en otros que ya no son venenosos, es decir, que no son directamente dañinos. Sin embargo, hay que retirarlos, ya que, de lo contrario, perturbarían la actividad interna. En el caso de los organismos unicelulares y de los pluricelulares más sencillos, se les elimina a través de la pared celular. En los organismos pluricelulares más grandes llegan al estrecho sistema intersticial desde donde deben salir al exterior del cuerpo. ¿Cómo? Va hemos mencionado los glóbulos blancos que, con movimientos ameboides, se desplazan a través de los tejidos, devoran los agentes patógenos que se hayan introducido y, cargados con ellos, abandonan el cuerpo, es decir, se suicidan por el bien de la comunidad celular. En los organismos pluricelulares sencillos que no disponen de ningún sistema de vasos sanguíneos, existen ya este tipo de células migratorias, o *planocitos,* que hacen el servicio de recogida de desechos. Devoran los productos residuales de las células y se desplazan, con ellos en su interior, hasta la pared celular o el intestino eliminándolos allí. Más tarde se formó un sistema de finos tubos que desembocaban en el exterior. Mediante *células flamíferas* el líquido se mueve en los canales. Esta solución nos la presentan todavía los platelmintos, sobre los que ya hemos dicho que tienen un tubo digestivo ramificado. Al igual que éste, que alimenta directamente las células, los platelmintos disponen de un segundo sistema de tubos ramificado que conduce los residuos hacia el exterior. El cuarto estadio evolutivo, que nos muestran asimismo los gusanos, se refiere a la formación de cavidades generales del cuerpo a partir de las cuales parten canales que conducen al exterior. Mediante «embudos

ciliados» *(nefrostomas)* recogen los desechos de la cavidad del cuerpo y los conducen hacia fuera. Estos tubos reciben el nombre de *nefridios* y los gusanos actuales todavía los presentan. Las células migratorias que se mueven por el sistema de espacios intersticiales y transportan los residuos hasta la cavidad del cuerpo, cumplen otros servicios auxiliares. Vemos así un tipo de suicidio para bien de una comunidad mayor. En otros animales el proceso es menos dramático, las células migradoras se reúnen en los nefrostomas y vacían los residuos en los nefridios. El quinto estadio evolutivo, que nos muestran hoy los nemertinos, es el de la formación de un primitivo sistema de vasos sanguíneos al que se conectan los nefridios. Las vías sanguíneas no sólo conducen ahora las sustancias nutritivas hasta los tejidos sino que recogen allí los residuos. Los transportan después hasta los nefridios, expulsándolos así al exterior. En el sexto estadio evolutivo la situación cambia por completo y los vasos sanguíneos tratan de conectarse con las células flamíferas de los nefridios, con la canalización que conduce al exterior. Esto es lo que sucede con todos los vertebrados. Dos sistemas de canales se unen y entran en contacto íntimo. Se forman primero los vasos sanguíneos junto a las aglomeraciones de varias células flamíferas, los *glomérulos,* a través de las cuales conducen los residuos hasta la cavidad general del cuerpo y desde donde llegan hasta los nefrostomas. Más tarde, estos últimos involucionan y los «nódulos vasculares» se transforman en recipientes, las *cápsulas de Bowman,* en los que la sangre introduce directamente los residuos en los sistemas de evacuación (tabla 7, c).

A quien las afirmaciones vertidas en los capítulos precedentes no le hayan servido todavía como prueba de que el ser humano no es el resultado deseado de una construcción, sino más bien un descendiente de los peces primitivos que vivían en el mar, surgido poco a poco mediante múltiples transformaciones, le remitimos también aquí al camino evolutivo que sigue el embrión humano. No sólo el curso que siguen nuestros vasos sanguíneos, la aparición de los huesecillos del oído y de la laringe, así como el acuario en el que se desarrolla el embrión

nos muestran con toda claridad que descendemos de seres vivos que vivían en el agua y que respiraban mediante branquias. La aparición de nuestros riñones a partir de los nefridios de nuestros antepasados peces también lo demuestra, ya que el desarrollo embrionario recapitula con toda claridad la historia filogenética. Cualquiera de los seres humanos que aparecen a partir de una sola célula muestra durante su desarrollo el modo en que inicialmente los túbulos renales involucionaron, primero en su parte anterior *(pronefros)* y después en la central *(mesoneros),* para dar lugar en su parte posterior *(metanefros)* a los riñones actuales (tabla 7). Comprende en el ser humano no menos de 2,2-2,5 millones de cápsulas de Bowman con sus correspondientes glomérulos y cada una de estas unidades recibe el nombre de *corpúsculo de Malpighi,* cuya eficacia es mucho mayor que la de los nefridios originales. El 85 por ciento del líquido retirado de la sangre por los túbulos renales es devuelto mediante un segundo proceso, a modo de ahorro de los animales terrestres, de nuevo a la sangre. Las sustancias extraídas de ésta son comprobadas en este lugar y se devuelven las sales necesarias para el cuerpo. Mediante circuitos reguladores nerviosos y hormonales se influye sobre la concentración en sangre de las sustancias importantes para el cuerpo, además de sobre la presión sanguínea. En el transcurso de la evolución, el hígado se hizo cargo de la producción de urea y se convirtió así en un órgano auxiliar en la eliminación de los residuos. El sistema linfático, es decir, los vasos más finos que más tarde se unieron y desembocaron en las venas, se convirtió en otro dispositivo auxiliar, es decir, uno de drenaje que sirve de apoyo al sistema circulatorio. Las febriles células migradoras tienen aquí su cuartel general y se forman en prolongaciones de los vasos, los nódulos linfáticos. En esta evolución puede considerarse como momento estelar el instante, hace 1.000-800 millones de años, en que aparecieron los primeros *nefridios.* Primero desembocaron, ciegos, en los tejidos, más tarde se abrieron a la cavidad general del cuerpo, se conectaron al sistema de vasos sanguíneos y se concentraron en la parte posterior del cuerpo en la que se encuentran los riñones, formando con el hígado, el

sistema linfático y las células migradoras un grupo muy activo de ayudantes.

La tercera condición para el mantenimiento de la estructura y el orden corporales, junto a la formación de reservas y la eliminación de los residuos, es la defensa contra los enemigos procedentes del exterior. Todos los organismos contienen en sus moléculas energía y materia que otros pueden utilizar. A estos ladrones se les puede mantener a distancia mediante corazas, púas y venenos, mediante una defensa activa basada en la boca o las garras, con comportamientos de huida, enmascaramiento o engaño al enemigo. Sin embargo, se desarrollaron agresores contra los que no sirven estos sistemas, ya que son demasiado pequeños. A través del camino que ofrecen las aberturas del cuerpo o a través de la misma piel, penetran en el interior y lo parasitan. Muchos de ellos son inocuos, no perturban el orden interno e incluso algunos, como las bacterias y los protozoos de la flora intestinal, prestan algunos servicios, con lo que se convierten en elementos de dicho orden interno, en órganos que ayudan al cuerpo aun a pesar de que él no los haya creado. Sin embargo, otros muchos producen enfermedad debido a su actividad depredadora, a su multiplicación y, sobre todo, a los desechos que producen, es decir, suponen un peligro serio para la organización total. Ya que se encuentran en el interior del cuerpo, sólo desde el interior del cuerpo pueden ser combatidos.

Ya hemos hablado de la policía interna, que adopta la forma de glóbulos blancos, y de las células migradoras que actúan en el sistema linfático, los *linfocitos*. Su actividad se extiende hasta la última hendidura del tejido, combatiendo en todos los sitios a los enemigos que han penetrado y retirando los residuos. Además de esto, en nuestros antepasados se desarrolló un arma defensiva de especial eficacia. Su aparición, hace 500-400 millones de años, fue otro momento estelar en el camino evolutivo de los órganos que mantienen la estructura y el orden corporales.

En la ciencia actual se designa con el nombre de *órgano* sólo aquellas estructuras pluricelulares orientadas hacia una

función determinada como, por ejemplo, el ojo, la boca, el oído, el pulmón o el corazón. Si, por el contrario, se considera prioritario el cumplimiento de una tarea, entonces es indiferente el tamaño que tenga una unidad que sirve al cuerpo, si está formada por muchas o por una sola célula que realiza la tarea o si, en último extremo, es tan sólo parte de una célula o su formación. Desde el punto de vista funcional, el material genético es, sin duda alguna, una unidad de importancia decisiva para el cuerpo, y desde esta perspectiva un órgano. Sin embargo, dado que no está compuesto por células sino que es una parte del interior celular, no se habla aquí de órgano sino de *orgánulo.* En el caso de las armas defensivas de las que vamos a ocuparnos ahora, los anticuerpos, no se trata ni siquiera de un orgánulo sino de un producto de desecho de las células. Son moléculas que, de acuerdo con las ideas generales, no pueden considerarse vivas sino que deben tomarse como estructuras inanimadas. En este caso el punto de vista funcional continúa sirviéndonos de ayuda. En último extremo, el cuerpo de todos los animales y plantas está formado en su totalidad por materia inerte, por átomos y moléculas. Estas se convierten en «materia vitalizada» cuando se agrupan formando estructuras que sirven a los portadores de la corriente de la vida, los *seres vivos,* de una u otra forma, tal y como lo designara Teilhard de Chardin, o en «órganos» en un sentido amplio. De este modo es como queremos concebir a los anticuerpos, cuya aparición consideramos incluso como un momento estelar de la evolución de los órganos de mantenimiento.

En la evolución de los animales y las plantas, el proceso seguido fue parecido al de la aparición de los Estados y el de la construcción de sus armas ofensivas y defensivas. Avance por un lado, cuando se gana una guerra y el vencedor se extiende por los territorios conquistados. Avance por el otro lado, cuando éste consigue la superioridad y adquiere mayor poder y una mayor influencia. Sucedió lo mismo en la lucha entre los depredadores, grandes y pequeños, y sus presas. Si eran capaces de alcanzar, por mutación y sus combinaciones, un progreso, tenían mayor capacidad de competencia y ampliaban su

área de influencia. Muchos individuos de esta especie podían imponerse, florecer. Más tarde, los perseguidos alcanzaban una nueva estructura de defensa, mediante mutaciones o su combinación. La situación cambiaba por completo. Los que ahora podían florecer eran los perseguidos, mientras que los depredadores pasaban un mal momento. Muchos morían de hambre, no podían reproducirse... hasta que volvía a producirse un progreso a su favor. En la lucha defensiva de nuestros múltiples antepasados la situación fue análoga, al igual que en el resto de las líneas evolutivas del árbol de la vida. En los antepasados primitivos de los vertebrados, las células migradoras fueron las primeras que se ocuparon de la defensa contra la penetración de pequeños depredadores, las bacterias, los virus y los protozoos parásitos. No sólo devoraban los residuos rechazados por las células sino que, cuando lo conseguían, también los propios enemigos que habían penetrado. Con ello se inició la alternancia entre agresión y defensa. Las células migradoras «aprendieron», primero seguramente mediante señales químicas, es decir, el «olor», a reconocer a los intrusos. De las bacterias intrusas sólo pudieron sobrevivir aquellas que fueron capaces de huir de un modo u otro de la policía interna o que pudieron protegerse de su actividad. Segundo paso a favor de la defensa: las células del plasma sanguíneo logran segregar sustancias que ponen fuera de combate, de forma parecida a la bala de un revólver, a los virus, bacterias y protozoos. Dos de dichas armas fueron el *inferieron* y la *properdina* de las proteínas. El primero actúa contra los innumerables virus, inhibiendo la síntesis de sus ácidos nucleicos, es decir, su capacidad de reproducir el material genético y, por tanto, su multiplicación. La segunda está estructurada de tal manera que se une al material de la membrana celular de las bacterias y organismos unicelulares y no sólo los inhibe sino que los mata. Sin embargo, la duración de esta sustancia es breve, por lo que debe ser renovada constantemente. Si dicho proceso no se produce por algún motivo, entonces los invasores vuelven a estar en ventaja.

El tercer paso lo constituye una fuerza defensiva específica y adquirida. No se basa ya en la formación de sustancias, proteínas, que destruyen en general estos o aquellos invasores, sino que se fundamenta en la obtención de un arma especial hecha a la medida de las características del agresor, del intruso. Se determinan las características del enemigo, su estructura molecular concreta. Esto se lleva a cabo mediante *receptores*, es decir, con mayor exactitud, mediante órganos sensoriales internos. Si los linfocitos entran en contacto con nuevos invasores, determinan sus características. Acto seguido, y con ayuda de esta información, elaboran por sí mismos o con ayuda de unidades especializadas, una proteína especial que se adapta a las características del invasor como una llave a la cerradura y que se une a él, quiera éste o no, convirtiéndolo en una combinación totalmente distinta que ya no perturba al cuerpo y que las células migradoras pueden ingerir y eliminar.

Los enemigos que han penetrado en el cuerpo, que le ponen en peligro y con ello la persistencia de su material genético, de sus genes, reciben el nombre de *antígenos.* Las sustancias que los neutralizan, que los vuelven inofensivos, reciben el nombre de *anticuerpos.* Se trata de proteínas específicas que destruyen al invasor de muy distintos modos. Algunas lo matan, otras lo disuelven como si fuesen nutrientes, otras lo neutralizan de modo que no pueda resultar dañino. La lucha en este frente continúa. Curiosamente, en el caso del ser humano ésta se dirige contra nosotros mismos. Como consecuencia de nuestra inteligencia, la medicina ha alcanzado ya el estadio que le permite sustituir los órganos dañados por los de otro ser humano, como, por ejemplo, un riñón, por el de otra persona. En principio, al cuerpo le basta con uno solo, por lo que si se encuentra un donante puede llevarse a cabo el trasplante. O el caso del corazón. Aquí únicamente puede utilizarse el de una persona que haya fallecido dejando su estructura cardiaca intacta. Estas posibilidades existen asimismo para casi todos los órganos En muchas circunstancias el problema radica en el proceso del trasplante. Incluso si éste sale bien, la operación puede resultar un fracaso, y el órgano extraño deja de funcionar demasiado

pronto, cuando el cuerpo lo rechaza. Le ayudaría realmente, le permitiría continuar viviendo, sin embargo, «no lo quiere». Si el ser humano estuviese creado con el objetivo de actuar de modo inteligente, se plantea la cuestión de por qué el cuerpo está programado de manera «tan tonta e incapaz para el aprendizaje». Sin embargo, esto se explica por su camino evolutivo. La defensa contra proteínas extrañas fue a lo largo de cientos de millones de años una ventaja evidente. Sin embargo, en determinadas ocasiones, es hoy una desventaja. Dado que dicha evolución no está regida por ninguna voluntad con un objetivo concreto, el cuerpo se comporta, por lo tanto, de forma «errónea». Rechaza aquello que le cura, aquello que puede volver a restablecer el orden de su estructura dañada.

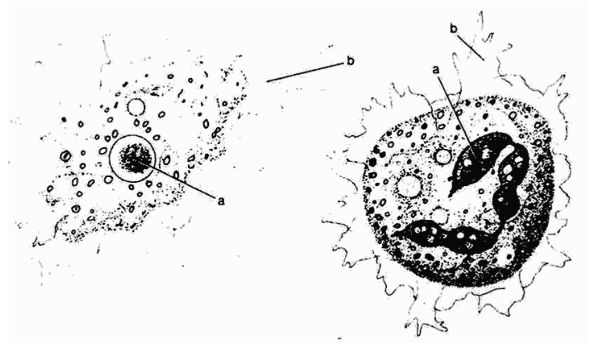
TABLA 19. Nuestros antepasados y elementos constituyentes

Figuras: **1** ameba *(Mayorella vespertilio),* **2** glóbulo blanco de la sangre humana (leucocito), **3** célula de la membrana del pericardio humano en un cultivo hístico (histiocito), **4** flagelado *(Trachelomonas oblonga),* **5** célula sexual masculina (espermatozoide), a = núcleo, b = pseudópodo, c = flagelo. Aumento: figura 1 =x600, figura 3= x800, figura 2 y 4= x 3.000, figura 5= x 5.000.

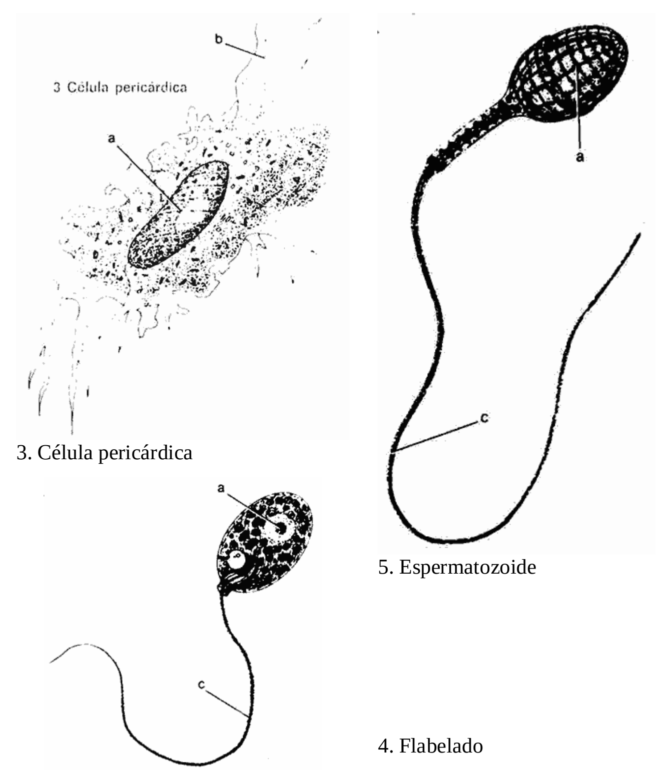
Como se sabe hoy, todos los animales y plantas pluricelulares, incluyendo al ser humano, proceden de organismos pluricelulares que surgieron hace más de 2.000 millones de años a partir de formas vivas todavía más sencillas (tabla 4). A pesar de este enorme intervalo de tiempo, los organismos unicelulares han logrado prosperar hasta nuestros días representados en muchas especies, que pueden encontrarse en cualquier gota de agua. Las figuras 1 y 4 muestran dos tipos que tienen especial éxito: las amebas, que se mueven mediante pseudópodos y con los cuales «engloban» también a sus presas, incorporándolas a su cuerpo, o sea, «devorándolas», y los flagelados, que con ayuda de un flagelo se desplazan hasta los lugares donde encuentran mejores condiciones de vida. Si se trata de una especie vegetal se dirige hacia la luz del sol, si animal persigue a otros organismos. Este hormigueo de variados organismos unicelulares en las gotas de agua le parece insignificante al ser humano, a él, el Prometeo que robó el fuego a los dioses, que contempla a sus antepasados tales como Lao-tsé, Hammurabi, Demócrito y Alejandro Magno, que cuenta entre sus congéneres con Nietzsche, Beethoven y Einstein. También la ciencia parece confirmar este menosprecio. Los primeros organismos pluricelulares de los que descendemos aparecieron hace más de 1.800 millones de años, separándose

ya de los unicelulares (pág. 103). Los vertebrados, nuestros parientes más próximos, están formados por miles de millones de células que forman una compleja organización, que se han «diferenciado» en diversas funciones concretas. ¿Por qué deberían interesarnos en especial los organismos unicelulares?

El hecho cierto es que el abismo que separa a los organismos pluricelulares de los unicelulares, al orgulloso hombre de la insignificante ameba, no es en modo alguno tan grande como parece. A pesar de los 1.800 millones de años de separación, nuestro cuerpo sigue mostrando con toda claridad nuestra pertenencia a ellos, que descendemos de ellos. La figura 2 muestra un *glóbulo blanco,* de los que en nuestro cuerpo se encuentran miles de millones. Se deslizan igual que amebas entre los intersticios de nuestros tejidos, engloban partículas alimenticias y las devoran. Dentro del marco de la organización de nuestro cuerpo, tienen la función de órganos de policía y de basureros. Cazan los parásitos que penetran en nuestro interior y eliminan los residuos de los tejidos. Todavía más: si se toman tejidos de un órgano humano y se cultivan, por ejemplo células cardiacas (3), la comunidad ya no puede influir sobre ellas y se convierten de nuevo en amebas con pseudópodos que llevan una vida independiente. Incluso más: las células de nuestro cerebro representan con sus pseudópodos nuestras vías de pensamiento. Las células cancerosas son revolucionarias que consumen el cuerpo desde el interior como un ejército de amebas. Y las especies actuales demuestran también que las amebas se pueden convertir en flagelados por reconversión de su cuerpo. Las células de tipo flagelado desempeñan también un papel importante en nuestro cuerpo, como sucede con los espermatozoides del hombre (5).



1. Ameba 2. Glóbulo blanco



3. Célula pericárdica

5. Espermatozoide

4. Flabelado

Una cuarta condición para el mantenimiento de la estructura y el orden corporales son las medidas de control y seguridad. No sólo los residuos y los depredadores invasores perturban el funcionamiento interno, sino que los órganos también pueden obstaculizarse mutuamente e incluso destruirse. Ya hemos hablado antes del corazón que, debido a su movimiento constante, podría dañarse a sí mismo y a los órganos que le circundan. Esto se evita mediante el pericardio, que es un saco lleno de líquido. O el pulmón en constante movimiento, que se encuentra sujeto dentro de la pleura pero separada de ella por una delgada capa de líquido de modo que las membranas no rozan entre sí. O las articulaciones de los huesos, que, como las

partes móviles de las máquinas, necesitan engrase y disponer de un cojinete. Esta función la cumplen las bolsas sinoviales y el tejido cartilaginoso. O la presión sanguínea, que al producirse esfuerzos repentinos podría romper los vasos. En este caso es el brazo, del que todavía no hemos hablado, el que actúa a modo de válvula de seguridad. En este órgano grande y elástico se forman los glóbulos blancos y se destruyen los rojos. Una de sus funciones esenciales, sin embargo, es también la de válvula de seguridad. Más del 10 por ciento de los glóbulos rojos se almacenan aquí. Si el organismo se eleva a alturas donde el aire contiene poco oxígeno o necesita más cantidad de éste debido a un esfuerzo, entonces abre sus compuertas y más glóbulos rojos extraen del aire lo que el cuerpo necesita. Si durante ese esfuerzo la presión sanguínea experimenta un súbito aumento, el bazo se dilata en consonancia y evita así que se produzcan daños.

Las glándulas lagrimales se ocupan de que la córnea muy acuosa del ojo no se seque ni roce. El reflejo de la pupila asegura que las células fotosensibles de la parte trasera del ojo no resulten dañadas por una excesiva cantidad de luz. Los reflejos de estornudar y toser consiguen que los cuerpos extraños puedan ser expulsados con rapidez antes de que obturen las vías respiratorias. El sueño, este instinto que nos gobierna, se ocupa de que demos a las sensibles células de nuestro cerebro el descanso y la recuperación necesarios. El velo del paladar y la laringe se encargan de que cuando tragamos no acceda ningún alimento a las vías respiratorias. Por último, hay que añadir la gran cantidad de circuitos que aseguran la constante actividad de nuestros órganos y su colaboración.

En esta línea evolutiva de los dispositivos de seguridad necesarios vamos a considerar como momento estelar el instante en el que, durante la conquista de la tierra firme por parte de nuestros antepasados, se mantuvo constante el «ambiente interno» de nuestras células. Este instante se produjo hace 350-330 millones de años.

Hay que tener en cuenta que los seres vivos primitivos que existieron hasta la aparición de la célula, estuvieron adaptados

durante 3.000 millones de años al mar como espacio vital y entorno, es decir, a la composición de las sustancias disueltas en sus aguas. Cuando aparecieron los organismos pluricelulares, la evolución continuó también en el mar, es decir, en el mismo ambiente. Con la conquista del agua dulce comenzaron las complicaciones, pues se hicieron necesarios dispositivos que asegurasen la concentración interna de sales y otras sustancias contra el efecto diluyente de un entorno distinto. Sin embargo, el problema adquirió dimensiones críticas durante la conquista de la tierra firme. El portador de la vida ya no estaba rodeado de agua sino de aire. Como se ha expuesto ya en un capítulo anterior, el embrión de todos los vertebrados, incluido el ser humano, crece en un «acuario artificial», el *amnios*. En este caso junto a la composición del medio circundante, juega un papel decisivo sobre todo el efecto de la gravedad terrestre que se experimenta en el medio aéreo. En el amnios, el embrión es tan ligero como en el agua y, por consiguiente, puede desarrollarse a sus anchas. Sin embargo, no sólo el embrión de los vertebrados terrestres se desarrolla en un ambiente artificial sino que, tomado en sentido estricto, todo vertebrado terrestre, y, por lo tanto, también nosotros, es en su conjunto un acuario. Las células de las que consta nuestro cuerpo y que por múltiples diferenciaciones forman los diversos órganos, están rodeadas de un líquido hístico cuya composición química es sorprendentemente análoga a la del océano primigenio. Si el ser humano fuera un desarrollo especial o el objetivo de una planificación, esto no sería necesario. Sin embargo, ya que durante un período tan prolongado (de 3.500 millones de años) las células se habían adaptado al agua, al mar, su organización interna no era ya modificable mediante variaciones en su material genético. Era mucho más sencillo adquirir dispositivos que continuaran garantizado la constancia del medio original. Puede que la idea parezca absurda: sin embargo, hasta la fecha las células de todos los animales terrestres viven en un líquido que, a través de numerosos órganos e innumerables circuitos reguladores, se mantiene constante, de modo que se parece al océano original. Especialmente importante para el funcionamiento de

las membranas celulares, es decir, para aceptar determinadas sustancias y evitar la entrada de otras, son las sales disueltas en la sangre, en los líquidos hísticos y en la linfa, en especial las relaciones entre ellas. En el mar, la relación entre las cantidades de cloruro sódico, cloruro potásico y cloruro de calcio son de 100:2:2, y en el líquido corporal de 100:2:1. Desde el punto de vista externo, el aspecto de los vertebrados terrestres es completamente diferente al de sus antepasados los peces. La comunidad celular que los constituye, sin embargo, continúa viviendo en el ambiente originario.

Para el mantenimiento de la estructura y el orden corporales es necesaria, junto con la formación de reservas, la eliminación de residuos, la defensa contra las perturbaciones externas y las medidas de seguridad interna y de control constante, otra condición, que es la capacidad de renovación, la regeneración. Las partes se van gastando y deben ser respuestas. En la interacción con el entorno se producen lesiones, pérdida o destrucción de órganos, cuya reconstrucción es vital ya que, en caso contrario, el flujo de la vida cesa en ese punto. La célula como elemento estructural del cuerpo pluricelular muestra aquí toda su fuerza y potencia. Es, visto desde el punto de vista económico, un material de construcción caro, precisa un aporte constante de energía y materia; cada una de ellas está dotada de la información del plan completo del organismo. Pero cuando los órganos envejecen o están lesionados, este esfuerzo suplementario resulta una ventaja. Todas las células nucleadas son, en principio, «omnipotentes» y son capaces de diferenciarse para funcionar de acuerdo con cada una de las diversas posibilidades del código genético. En las plantas aún puede observarse esta capacidad. Experimentalmente puede obtenerse un nuevo individuo incluso a partir de células sueltas muy diferenciadas. En el caso de los animales, esta capacidad de transformación se reduce con el grado de su mayor desarrollo, o expresado con mayor exactitud, con la diferenciación de la comunidad celular. Si se corta un turbelario en tres partes, el extremo posterior es capaz de formar una nueva cabeza y un nuevo segmento intermedio, el extremo anterior el resto del cuerpo y el intermedio una

nueva cabeza y una nueva cola. Incluso si se divide al animal en 200 trozos, muchos de ellos dan lugar a un nuevo turbelario, aunque más pequeño. También en nuestros antiguos parientes los equinodermos la capacidad de regeneración es notable. Si cortamos un brazo de una estrella de mar, éste se renueva, es decir, forma un nuevo disco central y otros cuatro brazos. En los vertebrados esta capacidad se ha reducido mucho. Las salamandras son todavía capaces de regenerar miembros enteros, y es bien conocido que la lagartija puede hacerlo con su cola. En lugar de la porción perdida de la columna vertebral aparece un cordón cartilaginoso. Sin embargo, esto son excepciones, ya que, por regla general, lo único que puede curarse son las heridas, es decir, sólo pueden regenerarse partes de los órganos. De todos modos, las aves renuevan su plumaje y en el ser humano los cabellos cortados vuelven a crecer. Cuando se afirma que todo nuestro cuerpo se renueva cada 7 años esto es cierto en tanto en cuanto la mayoría de nuestras células, salvo las nerviosas y musculares, envejecen constantemente, mueren y se forman de nuevo. Las células de las capas externas de nuestra piel se queratinizan, se desprenden sin cesar y son restituidas. Los glóbulos sanguíneos tienen una vida corta y se regeneran permanentemente en la médula ósea. Los osteoblastos del esqueleto se disgregan y vuelven a aparecer. Las células indiferenciadas del cuerpo son una especie de reserva y pueden, según las necesidades, diferenciarse, es decir, ocuparse de tareas específicas. El grado de omnipotencia de nuestras células corporales se pone de manifiesto claramente con los virus. Estos son, en realidad, material genético extraño. Penetran en las células y sustituyen el material genético de éstas por el suyo propio. Si atacan al cuerpo, nuestras células se vuelven a programar para fabricarlos, los hacen con toda perfección y, más tarde, mueren. Para decirlo con mayor claridad: si se les dan las órdenes precisas, nuestras células son capaces incluso de producir virus.

El momento estelar de esta evolución que debe incluirse en el marco de los órganos necesarios para el mantenimiento, se sitúa hace 4-2 millones de años. El desarrollo de la inteligencia

humana fue determinante. Condujo a que el ser humano aumentase el número de sus órganos mediante estructuras artificiales, creando órganos técnicos. Consideramos las armas, las herramientas y los vestidos como no pertenecientes al cuerpo debido a que no están formados por sustancia celular. Sin embargo, de hecho, amplían las capacidades del cuerpo y le sirven lo mismo que cualquier otro órgano. Desde el punto de vista funcional, unas gafas o un lápiz también lo son. Las ventajas de estas unidades formadas a partir del sistema nervioso central y no del material genético son, entre otras, que se pueden guardar. No gravan al cuerpo ni tienen que ser arrastradas de manera permanente. Otra ventaja es que se pueden sustituir con mayor facilidad que las estructuras celulares. Entre las comunidades humanas organizadas, algunas se especializaron en su fabricación y las suministran a cambio de otros valores. El desarrollo industrial incrementó esta posibilidad hasta el infinito. Mediante el intercambio, a través del dinero, se puede comprar y sustituir hoy cualquier herramienta, cualquier unidad que pueda prestarnos algún servicio. El mantenimiento de estos «órganos artificiales» se puede encomendar a otros.

Como se indicó al principio, la larga duración de la vida de las plantas y los animales es sólo una ventaja limitada en cuanto al desarrollo de la vida, a su evolución. Lo que sobrevive a los individuos es el plan de su estructura, que se renueva en cualquiera de los actos de su reproducción. Por lo tanto, el órgano central del mantenimiento es el material genético que permite una constante regeneración de la totalidad de los individuos. Su vida individual es limitada, si bien la estructura de la especie se conserva a pesar de todo. Constantemente aparecen nuevos corzos, abedules o seres humanos, nuevos ojos, corazones u hojas. En el caso de los órganos artificiales mediante los que aumentamos las capacidades de nuestro cuerpo, aparecen nuevos mecanismos de reproducción y mantenimiento. Los mecanismos de síntesis se transmiten ahora de forma oral, se fijan con la escritura y se enseñan en la escuela. De este modo, en este desarrollo creado por el hombre se preserva también lo que resulta útil, lo que realiza alguna tarea. Igual que los órganos

celulares han mantenido en el curso de generaciones siempre la misma estructura, hasta que han sido sustituidos por otros más aptos para dichas funciones, los productos de nuestra técnica se mantienen siempre en modelos nuevos hasta que son desplazados por otros mejores.

XVI. ELEMENTOS Y PROPORCIONES

Queda todavía por comentar una serie importante de problemas. ¿Influyen los elementos que constituyen nuestro cuerpo sobre su forma? ¿Por qué todos los animales superiores son simétricos, por qué lo es también el ser humano? ¿Por qué estamos formados, al menos en lo que se refiere a nuestra imagen externa, por dos mitades especularmente casi idénticas? Y finalmente: ¿por qué tenemos el tamaño que tenemos? ¿Por qué no medimos tan sólo un centímetro, o por qué no llegamos a medir 48 metros de altura? Tal y como se verá, a este respecto el tamaño del planeta sobre el que vivimos tiene una influencia inmediata. También lo es la materia de la que estamos hechos. En cuanto al tamaño del planeta, tiene en el punto de la evolución alcanzando en la actualidad incluso una importancia especial, determinante para el destino de todos los seres vivos que habitan en él.

Empecemos, por lo tanto, por los elementos. Son átomos, precisamente los mismos que forman también las montañas, los desiertos, el mar, los lagos, los ríos y el aire. En cuanto al material, las montañas, las aguas y los gases son parientes lejanos nuestros. A quien no crea esto le remitimos al ejemplo de las plantas. Su «alimento» está constituido completamente por materia inorgánica. Su fuente de energía son los rayos solares, su fuente de material es en primer término el agua con las sustancias y el aire disueltos en su interior. Transforman en sus estructuras «materia inerme» en «materia viva». Los átomos que extraen de su entorno, fundamentalmente los de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, los transforman con la ayuda de la energía luminosa en estructura que continúa el proceso de la vida. Por tanto depende de una combinación determinada de elementos. Si dicha combinación es de tal tipo que el proceso de la vida puede continuar en ella, entonces se ha transformado en *materia orgánica.* Si la combinación ya no es adecuada, o

si envejece perdiendo de esta manera su adecuación, entonces se detiene el proceso en este punto y la estructura se descompone convirtiéndose la materia de nuevo en inorgánica.

Los animales son, como se ha indicado ya en varias ocasiones, por regla general, depredadores de materia orgánica. Su fuente de energía la constituyen las fuerzas que mantienen unidos los átomos, en último término la energía de los rayos solares que transforman las plantas en la energía de unión que mantiene a sus átomos juntos. Si un animal devora una planta le roba dicha energía y sustancia, degrada su materia orgánica y forma con ella su propia materia orgánica. Si un animal se come a otro, entonces sucede lo mismo: de nuevo se roba materia orgánica y se transforma en otra estructura orgánica. Por tanto, lo que diferencia a los seres vivos de las montañas, los mares, los desiertos y el aire no es en modo alguno la materia que los constituye sino un proceso, que continúa cuando los átomos dan lugar a una combinación determinada, cuando la estructura formada por ellos está dotada de las propiedades necesarias. Desde este punto de vista los seres vivos no son en sí el auténtico fenómeno sino un proceso que se continúa a través de ellos. Dicho proceso se inició hace 4.000 millones de años en el mar y fue creciendo poco a poco como un alud. Sus portadores son los seres vivos. Éstos se multiplicaron, aparecieron cada vez más especies nuevas. Dicho con mayor precisión: aparecieron cada vez nuevas combinaciones de moléculas, de tal forma que continuaron un proceso que aumentaba como un alud. Al principio esto sucedió tan sólo en el mar, después también en aguas salobres y finalmente también en tierra, en el aire. Así el auténtico fenómeno es una corriente que iba en aumento, a la que hemos denominado en su totalidad «corriente de la vida», que atrae cada vez más materia inorgánica y energía, sometiéndola simultáneamente a su servicio y que continúa siempre mediante generaciones sucesivas de combinaciones atómicas, en especies siempre nuevas de «seres vivos». Si una combinación es adecuada para continuar esta corriente, entonces es un ser vivo. Si no es adecuada para dicha función, no lo es. Si pierde la adecuación, entonces deja de ser un ser vivo.

¿Cuándo apareció la materia que nos convierte en parientes lejanos de las montañas y los mares, dónde se encuentran los momentos estelares de este proceso evolutivo?

El primero coincide con el origen del Universo, que de acuerdo con las investigaciones actuales se produjo hace aproximadamente 13.000 millones de años. Los átomos, por su parte, están compuestos también por unidades más pequeñas, que constituyen los auténticos elementos de toda la materia. Todos los átomos están constituidos por las mismas «partículas elementales», cuyo tamaño es un millón de veces menor que el de los átomos. La visión general se facilita gracias al hecho de que existen tan sólo tres de dichas partículas elementales que constituyen la estructura permanente de los átomos, y que reciben los nombres de *protones, neutrones* y *electrones.* Toda la materia de la que están formados el planeta Tierra y los demás cuerpos celestes, está constituida por protones, neutrones y electrones. Los protones y neutrones, grandes y pesados, aparecieron en la cuarta centésima de segundo después del origen de nuestro Universo, los electrones algo más tarde, en el transcurso del primer minuto (tabla 16).

El Universo se originó en un fenómeno que en ciencia se designa con la expresión, un tanto insustancial, de «explosión inicial» o *big bang.* Se trató de una explosión de dimensiones inimaginables. El hecho de que se hubiese producido se reconoció cuando se observó que las galaxias y sus estrellas se alejan unas de otras a gran velocidad, desplazándose cada vez más lejos y en todos las direcciones del Universo, o de acuerdo con la formulación actual, difícil de concebir para nuestro pensamiento, que el espacio se extiende cada vez más sobre ellas. El instante de la explosión, a consecuencia de la cual apareció masa, es decir, materia, a partir de la energía, se puede calcular a partir de la velocidad de dichos movimientos. Además esta explosión dejó un eco residual, que puede detectarse todavía en la actualidad: la *radiación cósmica del fondo de microondas.* A partir de ella se ha podido calcular que la temperatura que reinaba en el instante de la «explosión inicial» era muy superior

a los 100.000 millones de grados. En este punto nos vemos obligados a introducir brevemente otra concepción.

Desde siempre se consideró que la materia y la energía, es decir, la sustancia y la fuerza, eran algo completamente distinto. Sin embargo, Einstein reconoció en 1906 que la materia es una forma de energía, que cada gramo de materia representa 9×10^{20} ergios de energía. En los años 1932 y 1933 se logró demostrar este hecho experimentalmente convirtiendo materia en energía y obteniendo materia de energía pura. Las partículas elementales que forman toda la materia son, por así decirlo, «paquetes» altamente estables de energía altamente concentrada. De este modo, la idea tan natural para nuestro cerebro de que la materia y la energía eran cosas completamente distintas ya no puede mantenerse por más tiempo.

Cuando en el Antiguo Testamento Dios creó al principio la luz, esto coincide con la concepción actual del inicio de nuestro Universo. El principio fue luz, radiación, de una intensidad inimaginable, y en este instante de una concentración inimaginable de fuerza y calor apareció la masa a partir de la energía, se formaron las partículas elementales. Este fue, por tanto, el primer momento estelar importante, hace 13.000 millones de años. En el mismo instante de la aparición del Universo actual se formaron también las partículas elementales que forman, en última instancia, nuestro cuerpo, que constituyen toda la materia por nosotros conocida (tabla 16, A, B). El segundo momento estelar, unos 400.000 años después de la «explosión inicial», fue el instante en el que se formó el primer átomo.

Todos los átomos están formados por un núcleo, compuesto por protones y generalmente también por neutrones, y por los electrones cuyo tamaño es mucho menor, que dan vueltas alrededor de dicho núcleo a gran distancia de él. De este modo, todos los átomos están formados en una proporción muy pequeña por masas, en realidad materia, estando constituidos principalmente por «espacio vacío». Esto repugna también a la «inteligencia humana sana», si bien es, a pesar de todo, un hecho completamente comprobado. En el caso más sencillo un electrón gira alrededor de un protón, formando el átomo del

elemento llamado *hidrógeno.* Si 29 electrones giran alrededor de 63 protones y neutrones, el átomo del que se trata es el del elemento llamado *cobre.* Si son 79 los átomos que giran alrededor de 197 protones y neutrones, entonces el átomo que ha aparecido es el elemento llamado *oro.* Si son 92 los electrones que giran alrededor de 238 protones y neutrones, entonces aparece un átomo del elemento pesado denominado «uranio».

La formación de los átomos exige una gran cantidad de energía. Se formaron cuando aparecieron en el Universo en expansión y sometido a enfriamiento las galaxias, en cuyo seno se produjo la formación de las estrellas, soles, así como las inmensas explosiones de *supernova.* Como salidos del horno, fueron apareciendo los diversos átomos, también aquellos que constituyen nuestro propio cuerpo. Muchos de ellos son más viejos que el planeta Tierra, que según la idea dominante en la actualidad apareció hace aproximadamente 60.000 millones de años mediante el colapso de gas y polvo cósmicos (tabla 11). A partir de los átomos, y de nuevo a causa de sus propiedades eléctricas, aparecieron los enlaces entre los átomos, las moléculas. Este proceso se inició hace aproximadamente un millón de años tras la explosión inicial. Este fue el tercer momento estelar en el camino evolutivo de la materia que forma nuestro cuerpo.

La unión de moléculas en los mares primigenios de nuestro planeta dio lugar a aquellas combinaciones gracias a las cuales se inició, hace 4.000 millones de años, el proceso de la vida, un proceso cuya particularidad radica en que no alcanza, como los demás, estados de equilibrio con las fuerzas del entorno compensando de este modo su potencia para realizar trabajo, sino que, por el contrario, aumenta dicha potencia como un alud. En el transcurso de este proceso se produjo necesariamente, muy pronto, una lucha competitiva entre las estructuras que los continuaban. Éstas necesitaban energía, necesitaban materia. Quien era capaz de obtener con más facilidad dicha «materia», sin importar la forma en que se presentase, se encontraba en una posición superior respecto de los demás, les arrebataba di-

cha materia, la incorporaba a su propia estructura, es decir, podía crecer con más rapidez y multiplicarse más, continuar el proceso de la vida antes que los demás, que, necesariamente, se quedaban, en esta competición, por el camino. Cada nueva propiedad que significaba en este proceso una ventaja potenciaba a sus portadores y se convertía en una desventaja para los demás. Esta competencia ha continuado hasta nuestros días. Los animales y las plantas que nos rodean nos dan clara muestra de ello. La lucha de los seres humanos y de las estructuras de poder creadas por nosotros, empresas, Estados, nos lo demuestran. Para el desarrollo de los organismos fue importante en tanto en cuanto en dicho círculo, que Darwin denominó «lucha por la existencia», los progresos se imponen. En realidad, no se trata de una lucha «por la existencia» sino «por la continuación». Las estructuras que son capaces de continuar mejor el proceso de la vida en algún campo determinado se imponen, desplazan a otras, continúan siempre en las siguientes generaciones hasta que de nuevo se produce una mejora gracias a la cual la corriente de la vida se puede imponer de forma más competitiva, por lo que las estructuras que son menos aptas son desplazadas. Desde este punto de vista se pueden comprender los animales y las plantas y su idoneidad con mucha más facilidad. Si vemos en ellos el objeto principal, como se suponía hasta ahora, entonces tropezamos automáticamente con la pregunta: ¿Quién los creó, cómo se produjo su idoneidad? Si por el contrario concebimos el fenómeno real como un proceso parecido a un alud, entonces queda claro que tan sólo determinadas estructuras dotadas de propiedades muy concretas son capaces de continuarlo, y precisamente éstas son las que resultan idóneas, por lo que desplazan a las precedentes. La introducción de una lucha competitiva fue por ello un momento estelar especialmente importante para el desarrollo global de la vida. Y de igual modo que la aparición de las materias fundamentales coincidió prácticamente con la del Universo, el inicio de la competencia coincidió con el del proceso de la vida, hace aproximadamente 4.000 millones de años.

Nada nos parece más natural que el hecho de que nuestra estructura sea simétrica. Sin embargo, nada es evidente en nuestro mundo. Todo lo que existe tiene una causa, y las causas son lo que tratan de estudiar la ciencia y la filosofía. Un avellano no es en modo alguno simétrico, la mayoría de las plantas no lo son. Los animales no son todos simétricos. Por ejemplo los cisnes. Si nos lavamos con una esponja de baño entonces lo hacemos con el esqueleto interno de un animal libre de sustancia viva. Este es todo menos simetría.

Los animales se hicieron simétricos en el instante en el que empezaron a buscar mediante movimientos de progresión el alimento. En esta actividad, la simetría se convierte en una ventaja. Imaginemos un escarabajo que tenga en un lado seis patas y en el otro tan sólo una. Es muy probable que en ese caso corra describiendo círculos, pero, incluso si logra desplazarse en línea recta hacia un objetivo, estará, sin duda, en desventaja frente a un competidor que con una estructura corporal idéntica disponga, sin embargo, de tres patas a cada lado. De este modo se imponen en todas las líneas evolutivas estructuras simétricas de los animales. Si la boca se encuentra delante, en el centro, ésta es la mejor solución para una búsqueda activa depredadora del alimento. Si los órganos sensoriales más importantes, los ojos, las narices, los oídos, se encuentran situados en las proximidades de dicha abertura, esto representa asimismo una ventaja. Otra ventaja la constituye el hecho de que los ojos y los oídos aparezcan en parejas, es decir, que estén dispuestos simétricamente a ambos lados del cuerpo. Durante la adaptación a un tipo especial de vida, mediante la herencia, pueden producirse naturalmente también excepciones. Las platijas viven de lado sobre el fondo, están perfectamente camufladas gracias a la adaptación de su color, esperan de este modo a la presa. Esta forma de actuar demostró ser ventajosa: las platijas se impusieron. Mediante mutaciones lograron incluso que el ojo que tenían situado hacia abajo se desplazase hacia el otro lado. De este modo son ahora asimétricas, tienen ambos ojos en el mismo lado. Durante el desarrollo embrionario de estos peces

se ve sin embargo, con toda claridad, que descienden de antepasados simétricos y que lo único que han hecho es adaptarse a una manera especial de captura de la presa.

En la línea de nuestros antepasados se produjo hace 1.200-1.000 millones de años la formación de la estructura simétrica del cuerpo, otro momento estelar del camino de la evolución de nuestro propio cuerpo. En realidad con la competencia que actúa constantemente, esta simetría necesaria se mostró como un factor estructural de primer orden. No fue ninguna pincelada genial del creador, sino tan sólo una necesidad. Los órganos internos como el pulmón, el corazón, el hígado y las asas intestinales tuvieron que plegarse a este dictado. Independientemente de cuál sea su posición, deben estar dispuestos de tal forma que no perturben la simetría necesaria para el cuerpo en su totalidad.

La siguiente cuestión es: ¿por qué el ser humano alcanza una estatura de dos metros mientras que el abeto llega a medir más de 20 metros y una ballena supera incluso los 30 metros de longitud? La respuesta es que en este caso el factor que determina la forma es aquí la fuerza gravitatoria ejercida por el planeta en el que vivimos, es decir la fuerza de la gravedad. La influencia de dicha fuerza se reduce sensiblemente debajo del agua gracias al empuje, motivo por el cual en su seno pueden desarrollarse animales mucho mayores y a pesar de ello de gran movilidad. En tierra, por el contrario, todos los seres vivos se ven completamente afectados por la fuerza de la gravedad, lo que impone un límite al desarrollo del tamaño tanto de las plantas como de los animales. Si aumenta el tamaño de un cuerpo en tierra, entonces lo hace también su volumen corporal, y con ello su peso, como el cubo (es decir, la tercera potencia) del tamaño, por lo que la capacidad de soporte de las partes que lo sostienen debe aumentar con la sección, es decir, con la segunda potencia (el cuadrado) del tamaño. Éste es el motivo por el cual los animales más grandes necesitan patas mayores y los árboles más altos troncos relativamente más gruesos. La comparación entre un ratón y un elefante demuestra este hecho con claridad, si bien esto queda más patente al comparar los troncos

de un roble joven y uno viejo. Si nuestro planeta tuviese un tamaño de una cuarta parte del que tiene y su fuerza gravitatoria tuviese, por lo tanto, una intensidad cuatro veces menor de la que tiene, entonces podrían formarse animales terrestres mucho mayores y los troncos de los árboles podrían crecer mucho más. Si por el contrario, nuestro planeta fuese cuatro veces mayor de lo que es y su atracción aumentase de manera correspondiente, no sería posible que nuestro cuerpo alcanzase el tamaño que tiene en la actualidad.

Con esto llegamos a una interdependencia muy importante e interesante: ¿hasta qué punto dependió la evolución hasta llegar al ser humano de un determinado tamaño del planeta en la que se produjo?

Hay que tener para esto en cuenta lo siguiente: el tamaño de las partículas elementales está predeterminado, así como también el tamaño de los átomos por ellas formados. El que un átomo de oxígeno o de hierro se encuentre en un cuerpo celeste grande o pequeño no influye para nada en su tamaño o, en todo caso, no lo hace de forma esencial. Las fuerzas que mantienen unidos los átomos son de tal magnitud que, comparadas con ellas, la fuerza de la gravedad juega tan sólo un papel subordinado, a no ser que se produzcan en el Universo inmensas concentraciones de materia. Sin embargo, no nos referimos a éstas sino únicamente a los cuerpos celestes que forman parte de la evolución de la vida. Dado que el tamaño de los átomos también es fijo está asimismo fijado el de las moléculas, lo que influye a su vez sobre el tamaño de la célula. Evidentemente debe estar formada por un número mínimo de moléculas para poder llevar a cabo la totalidad de su función, ya que, en caso contrario, se habrían impuesto en el curso de la competencia células más pequeñas, compuestas por un número menor de unidades. El tamaño de la célula influye, sin embargo, en un punto importante del proceso de aparición del hombre. Para la formación de nuestro cerebro se precisaban, evidentemente, unas dimensiones adecuadas, hecho del que la comparación con los monos nos ofrece un ejemplo muy claro. El tamaño del cerebro significa: el número de ganglios, es decir, de células

nerviosas. Los cuerpos constituidos por células deben, por tanto, alcanzar una cantidad determinada de ellas para acceder a la posibilidad de tener inteligencia. En un planeta cuatro o seis veces mayor se hubiesen formado, sin embargo, al menos en tierra, tan sólo seres vivos más pequeños. Dado que además del de los átomos y de las moléculas, también viene determinado el tamaño mínimo de las células, habría sido muy difícil que alcanzásemos un número de ganglios suficiente que nos hubiese permitido disponer de un pensamiento inteligente y consciente de nuestro yo. Por el contrario, sobre un planeta menor se hubiesen podido formar animales de mayor tamaño, si bien habría surgido en este caso el problema de si el tamaño de la superficie bastaba para que se produjese el proceso de la evolución. En este caso existen también límites que indican que sólo mediante una gran variedad de formas y de cambios genéticos y sus combinaciones se habría podido llegar a la anagénesis. A un Dios se le puede conceder la capacidad de poner en un mundo de tan sólo 100 metros de diámetro un ser humano; sin embargo, en el camino que ha tomado en realidad el desarrollo de la vida, esto no habría sido en ningún modo posible.

Aceptamos que aquí se pueden hacer muchas objeciones. Existen células de tamaños muy diferentes. Los insectos muy pequeños han logrado desarrollar funciones cerebrales muy considerables. Es posible que, a través de otro camino seguido por las mutaciones y la aparición de mecanismos que potenciasen la evolución, hubiesen aparecido también seres inteligentes del tamaño de un guisante. Sin embargo, en este contexto, cabe indicar de forma general que para el desarrollo de la vida no sólo se necesita agua, no sólo se requiere este o aquel tipo de átomos, esta o aquella temperatura y condiciones similares, sino que el tamaño del planeta, sobre el cual se desarrolla dicho proceso, juega también un importante papel. Si es muy pequeño, entonces existen unos límites que se imponen al desarrollo de la altura. Si es demasiado grande, entonces es la fuerza de la gravedad la que impone a su vez los límites. Para la estatura del ser humano hay dos cosas que son, de todos modos, importantes. Primero, el tamaño de los elementos de los que

estamos formados, es decir, el tamaño de las partículas elementales y de los átomos, determinado por las leyes físicas. Segundo, el tamaño del planeta Tierra, nuestro hogar. De este modo tampoco estamos ante una pincelada caprichosa de un creador que nos crea a nosotros personalmente. También aquí se produce la fuerza formadora de las condiciones que determinaron el proceso de la vida y señalaron con ello la evolución del ser humano.

Otro momento estelar: la influencia modeladora ejercida por la fuerza de la gravedad terrestre que en el mundo acuático no juega un papel despreciable. El ejemplo más claro ya se ha comentado: la ventaja en la selección, la ventaja competitiva de aquellos peces que, a través del rodeo de la adaptación al aire de sus antepasados, consiguieron el órgano de la vejiga natatoria. Si no existiese la gravedad terrestre entonces este órgano sería superfluo, por lo que no brindaría ningún tipo de ventaja en la competencia. Otro ejemplo: el de la ballena ya mencionada. Se trata de un mamífero de sangre caliente, que desciende de vertebrados terrestres. En tierra los mamíferos de mayor tamaño son el rinoceronte y el elefante. Sus patas nos muestran con claridad que en su caso ya no puede producirse un aumento de la masa corporal. Sin embargo, en el mar este aumento podría tener lugar sin dificultades. Los enormes cetáceos se desplazan por los mares sin dificultad y a gran velocidad. Por lo tanto, el instante de la conquista de la tierra es un momento determinante en lo referente al tamaño. En el caso de los miriápodos, los insectos y los arácnidos el tamaño de sus cuerpos está limitado por la coraza externa. Los vertebrados, dotados de un esqueleto interno, pudieron por el contrario desarrollar en tierra cuerpos mucho mayores. El sexto momento estelar es, por tanto, el de la evolución de nuestros elementos constituyentes y proporciones, la conquista de la tierra por parte de nuestros antepasados peces hace aproximadamente 350 a 330 millones de años.

Existe todavía otra problemática importante que no debemos olvidar, importante en cuanto al desarrollo global de la

evolución y especialmente importante en el punto de la evolución en el que nos encontramos en la actualidad. Se trata de la armonización de los órganos entre sí, respecto del cuerpo en su totalidad y respecto del entorno. La importancia decisiva de la competencia entre los diversos portadores del proceso de la vida, los «seres vivos», ya se ha subrayado. ¿Quién vence en esta lucha? Evidentemente aquellas estructuras que, por un lado, responden mejor a su entorno, cuyos órganos están, por lo tanto, mejor adaptados a las necesidades particulares, y, por otro lado, también aquellas que son capaces de realizar la misma función de forma más económica o favorable. Si un animal tiene un corazón cuatro veces mayor de lo necesario, esto significa un gasto innecesario y actúa de forma negativa en la competencia. Esto se cumple, sin embargo, no sólo para el corazón, que se ha tomado como un ejemplo arbitrario, sino de igual forma para cualquier otro órgano. Cuanto más armónico sea el cuerpo en su totalidad respecto de sus necesidades reales, tanto más fácil le será sobrevivir en la lucha con sus competidores.

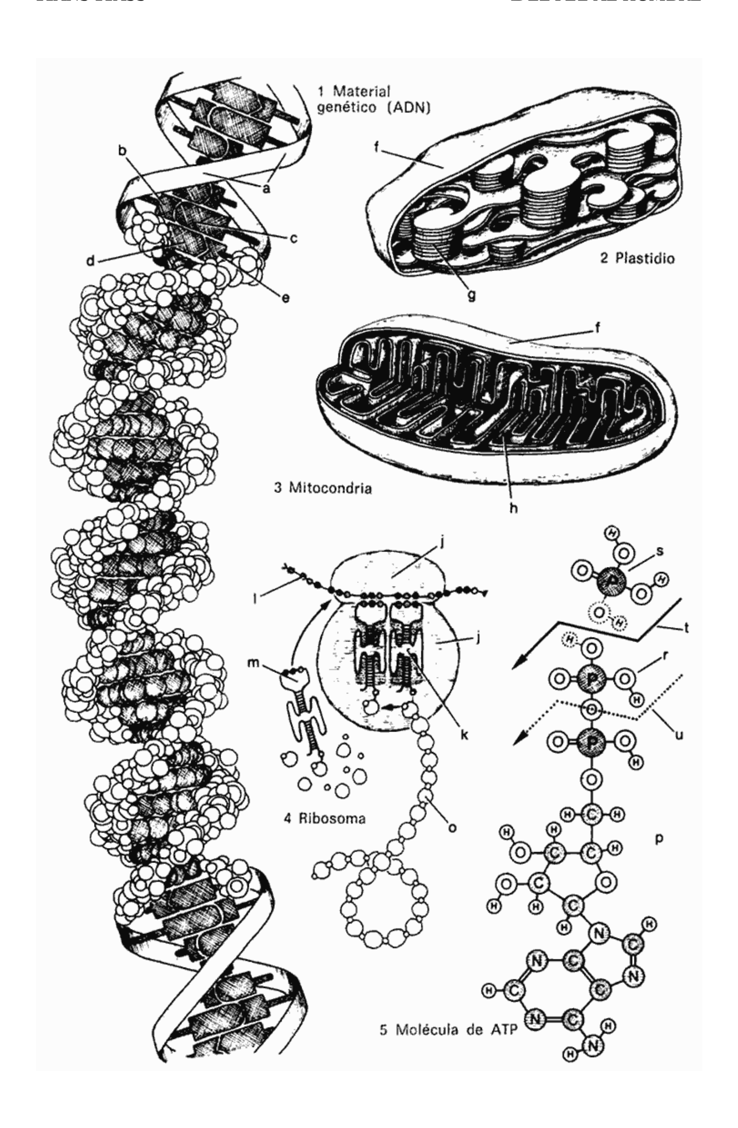
TABLA 20. Los órganos principales del hombre y del manzano, que generalmente no se consideran como tales

Figuras: **1** material genético *(cadena de ADN)* con los extremos sólo en esquema, **2** plastidio, **3** mitocondria, **4** ribosoma, **5** molécula de ATP. a = cadenas de polinucleótidos, a las que se adhieren las letras del código genético en forma de cuatro bases: b = adenina, c = timina, d = guanina, e = citosina, f = membrana externa, g = láminas de grana, h = crestas, j = subunidades del ribosoma, k = centro de síntesis, l = ARN mensajero, m = ARN de transferencia, o = cadena de proteína sintetizada, p = molécula de adenosinmonofosfato, r, s = fosfatos, t, u = energía liberada en la separación de los fosfatos. Aumento: figura 2= ×30.000, figura 3= ×70.000, figura 4= ×1.500.000, figura 1 = ×15.000.000, figura 5= ×50.000.000.

El concepto de *órgano* surgió en una época en la que no existían microscopios ni análisis químicos y designa a partes del cuerpo claramente diferenciadles, tales como piernas y brazos, ojos y nariz, corazón e hígado. Hoy sabemos que las funciones más importantes en las plantas, los animales y el ser humano no las realizan esas grandes unidades pluricelulares sino los órganos de las células que nos constituyen, que, sin embargo, por

el concepto tradicional de órgano que tenemos no se consideran como tales. No obstante, si designamos con esta palabra a las unidades principales a las que el cuerpo debe sus funciones y capacidades, debemos colocarlas en primer lugar.

La figura 1 muestra el material genético contenido en cualquier núcleo celular, que durante el proceso de la reproducción imparte todas las órdenes necesarias para la formación de un nuevo individuo. Tiene la forma de una cadena doble (a) a la que se unen cuatro moléculas diferentes (b-d), las *letras* del código de instrucciones, el código genético. En cada división celular la doble cadena se divide de tal modo que cada una de las nuevas células contiene en su núcleo todo el código. En el ser humano estas cadenas son tan largas que el código traducido a nuestra escritura ocuparía 10 tomos de una enciclopedia de 1.000 páginas cada uno (capítulo 5). La figura 2 muestra el orgánulo celular llamado *plastidio,* un taller con cuya ayuda las plantas aprovechan la energía solar. Las hojas son simplemente estructuras auxiliares mientras que el auténtico trabajo, la *fotosíntesis,* lo realizan los plastidios contenidos en las células. La figura 3 muestra el orgánulo celular llamado *mitocondria* al que todos los animales, y el hombre, deben la obtención de energía por inclusión de *alimento.* La boca, el estómago, el intestino, los órganos sensoriales y los órganos de desplazamiento son sólo estructuras pluricelulares auxiliares para la obtención de la presa, mientras que la auténtica disgregación de las moléculas orgánicas ingeridas se realiza en las mitocondrias contenidas en todas las células (pág. 153). La figura 4 muestra el orgánulo celular *ribosoma,* el taller de la síntesis de las proteínas. Los mensajes para la síntesis emitidos por el material genético en forma de *moléculas de ARN mensajero* (1) llegan hasta este taller, las *moléculas de ARN de transferencia* (m) llevan el material de construcción necesario y después salen las moléculas de proteína (o). La figura 5 muestra una *molécula de ATP,* un «órgano celular» que igual que una batería toma la energía adquirida por las mitocondrias y la transporta a todas las partes de la célula en las que hace falta (pág. 148). La liberación de energía (t) se produce por separación del fosfato (s). Cuando el ser humano está en apuros, por separación de un segundo fosfato (r) se puede obtener todavía una pequeña cantidad de energía (u). Al enlazarse de nuevo los fosfatos, se recarga esta batería. Que todos los organismos pluricelulares, incluso el ser humano, continúan siendo colonias celulares lo demuestra el hecho de que las funciones más importantes se siguen llevando a cabo en orgánulos celulares, aunque esto suponga una pluralidad infinita. En el cuerpo de cualquier gran organismo pluricelular, desde un manzano al hombre, se encuentran miles de millones de estos talleres idénticos.


1 Material genético (ADN)
a
b
c
d
e
f
2 Plastidio
g
f
3 Mitocondria
h
j
s
l
j
t
m
r
k
u
4 Ribosoma
o
p
5 Molécula de ATP

Otro punto lo constituyen los diversos rangos, las prioridades. No es infrecuente que los órganos se estorben mutuamente. Si en el cuerpo se encuentran por ejemplo los huesos, los músculos, los vasos sanguíneos o los nervios, entonces se plantea la cuestión de quién es el que debe desviarse. Por regla general son los huesos y los músculos los que tienen preferencia: los vasos sanguíneos y los nervios no los atraviesan. Sin embargo, algunas veces la situación es exactamente la contraria, como por ejemplo en el caso de los huesos del cráneo o en el del diafragma. O el problema del emplazamiento óptimo en el cuerpo. No es raro que se produzcan conflictos y que el mejor parado sea aquel organismo en el que los órganos más importantes ocupen el lugar óptimo, mientras que otros han de llegar a un compromiso.

A esto se añade además la cuestión de la integración. En nuestro cuerpo hay órganos de gran importancia que son órganos celulares y que, por regla general, no se designan como tales. Precediendo a todos está el material genético contenido en cada una de nuestras células, un esfuerzo gigantesco. Asimismo, están los plastidios de las plantas que capturan la energía solar y la transforman en energía de enlace molecular, o las mitocondrias contenidas en cada una de las células que, mediante destrucción de las moléculas, liberan energía, y los ribosomas que sintetizan proteínas propias de su especie. También está el ATP formado por todas las células como intermediario energético que está en constante actividad. Todos estos órganos (tabla 20) se forman en cada una de las células, lo que supone de nuevo un esfuerzo inmenso. Además, nuestro cuerpo está compuesto asimismo de órganos pluricelulares, por ejemplo, nuestras manos, ojos y riñones. Existen además unidades que nos sirven, que pertenecen a un nivel superior de integración y que tampoco reciben el nombre de órganos ya que ellas mismas están constituidas por innumerables órganos. Entre ellas se cuentan el sistema de los vasos sanguíneos y el sistema nervioso. Sirven, en su conjunto, al cuerpo lo mismo que un órgano. Finalmente, en el caso del ser humano hay que sumar unidades de origen artificial. no obtenidas por diferenciación

celular sino por la actividad cerebral, a las que no denominamos con razón órganos porque no están integradas en el cuerpo, no están formadas por células y generalmente no han sido ni siquiera creadas por él. Un ejemplo de esto es un diente postizo. Está hecho de otro material, se le ha elaborado en otro lugar, pero, ¿es menos «órgano» que el diente natural que tiene al lado? En ocasiones, y eso es lo que importa en último término, realiza su función incluso mejor que éste. Dado que está firmemente unido a nuestro cuerpo, lo aceptamos, a pesar de su procedencia, como «órgano» más que unas gafas o unos zapatos. Sin embargo, éstas también aumentan las capacidades de nuestro cuerpo, por lo que son, en este sentido, órganos. En último extremo, también lo es una vivienda en cuyo interior nos recogemos como lo hace un caracol en su concha.

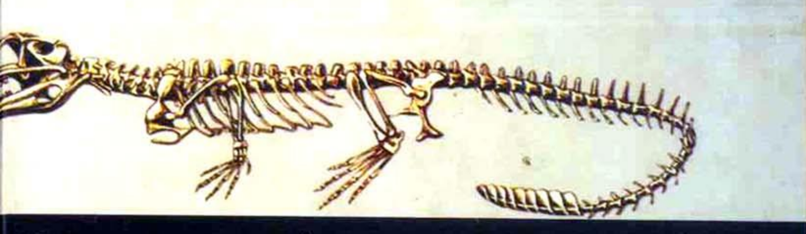
Lo que en todo caso es esencial es que todas las unidades deben estar armonizadas entre sí, dado que una dimensión errónea o conflictos entre los órganos resultan inevitablemente negativos para el cuerpo, para su capacidad de existencia y su fuerza competitiva. En el caso del ser humano, esta condición se desplazó a otras áreas, las de la comodidad y la cultura. Sin embargo, en ellas la situación tampoco es diferente. Lo importante, aquí también, es el cumplimiento de la tarea y formamos unidades que nos sirven, que son asimismo «órganos».

Llego ahora al final, al último momento estelar que se menciona en este libro. Es el primero, que es tan irreal que todavía no ha tenido lugar, ya que representa únicamente una meta hacia cuya consecución podemos esforzarnos. Su enunciado es: armonización de nuestros órganos de origen corporal y artificial y armonización de todos ellos en el planeta Tierra, que en la actualidad dominamos, y, por tanto, de la totalidad de la naturaleza, de la totalidad de todo aquello que ella es capaz de darnos así como de la totalidad de nuestros parientes las plantas y los animales. En la actualidad nos enfrentamos a este problema, que es casi irresoluble. Para el desarrollo del poder del ser humano, para la reproducción y la tendencia hacia el lujo, este planeta se hace cada vez más pequeño. La catástrofe es previsible.

Si existiesen veinte planetas distintos que pudiésemos habitar, el problema sería mucho menos grave. Sin embargo, dichos planetas no existen. El flujo de la vida ha crecido con tal empuje por encima de nuestra inteligencia y de la gran cantidad de órganos artificiales que el ser humano crea, produce, comercia y vende en la actualidad, ha alcanzado tal potencia, que la autodestrucción de este proceso está más cerca de nosotros de lo que la mayoría quieren creer o darse cuenta. Nos alegre o no, somos precisamente nosotros los que estamos predestinados a frenar el crecimiento en forma de alud de la corriente de la vida o a enfrentarnos con el final de su evolución. A esto es a lo que nos referíamos al principio del libro cuando decíamos que el conocimiento acerca del proceso de aparición de nuestro cuerpo, y con ello de nuestro «yo», es en la actualidad de gran importancia. El hecho es que somos parte de una evolución que ahora se estrella contra la pared de un espacio demasiado angosto, si es que las cosas discurren como hasta el presente, y que amenaza con autodestruirse.

Al ser humano moderno este tema le afecta en gran medida, por mucho que trate de convencerse de lo contrario. ¿Cuáles son las bases de nuestra existencia? ¿Cuál es la situación del ser humano? Cuando todavía se es estudiante y las metas aún no están claras, son cuestiones que pueden resultar interesantes. Sin embargo, ¿qué tiene que ver esto con la vida real: con el dinero que ganamos, la casa cuya propiedad deseamos, el automóvil que conducimos, los lugares a los que acudimos durante las vacaciones, las fiestas que damos, el reconocimiento social del que disfrutamos, el bienestar por el que luchamos o el equilibrio seguro, alegre y despreocupado que ansiamos? El dedo gordo del pie, lo tenemos. ¿Y nuestros ojos? Sí, son necesarios, pero lo que cuenta, en realidad, es el Estado, la coyuntura económica, los impuestos, el éxito profesional, la familia, la seguridad en la vejez. ¿O tampoco? ¿Sería posible que el ser humano se pareciese a una gota de agua que es arrastrada por una gran corriente y que cada uno de nosotros tan sólo gozase de un mínimo de libre albedrío?

El lenguaje que hablan los jefes de Estado continúa siendo el mismo de siempre. El pensamiento, que dirige la formación de la voluntad general, se produce en categorías que no han cambiado en lo esencial desde hace miles de años. En cierto modo, me parece a mí, el ser humano vive como en un sueño. O mejor dicho, en un sinnúmero de sueños que fabricó su fantasía y que ésta sigue fabricando. Los valores por los que nos regimos no se corresponden en absoluto con la imagen global de la realidad que resulta de la investigación. Esta misma quedó desamparada al subdividirse en muchas áreas especiales y ya no es capaz de aprovechar los propios resultados para lograr una consecuencia global. El «conocerte a ti mismo» escrito en el friso del templo de Deltas obtiene en el momento actual de la evolución una importancia trágica y dramática. Por consiguiente, el séptimo momento estelar en la evolución de los elementos constituyentes y las proporciones del ser humano, el octogésimoquinto del presente libro, es la armonización de nuestro cuerpo y de las estructuras de poder que nosotros formamos, con la realidad. Debería producirse en los próximos 30-100 años, ya que, en caso contrario, es posible que no pueda llegar a tener lugar. Este es el auténtico trasfondo de este libro, su propósito, y lo que me movió a escribirlo. Espero haber contribuido en algo a su realización.



La mayoría de nosotros piensa que el problema de la evolución del ser humano se reduce a saber si descendemos del mono y de qué manera ocurrió la transformación. Pero, en realidad, ése es el último tramo de un sinuoso y fascinante sendero evolutivo cuyo origen se remonta a los peces primitivos e incluso más lejos.

Nos vemos a nosotros mismos como el resultado de un acto de creación único, de una planificación genial; pero lo cierto es que nuestro cuerpo es una colección de órganos que aparecieron en épocas distintas de nuestra historia evolutiva y bajo circunstancias muy diferentes, y que desde luego dista mucho de ser perfecto.

Comprenderemos mucho mejor nuestro *yo* cuando, tras leer este libro, conozcamos la historia de las partes que lo componen.

El profesor Hans Hass es un biólogo famoso por sus investigaciones del mundo submarino realizadas en todos los mares, que ha divulgado mediante libros y películas de gran éxito mundial. Desde hace ya varios años ha centrado su interés en la anatomía y la fisiología comparadas, y de sus estudios ha surgido este libro ameno a la vez que profundo.